

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ\*FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FAZ KORELASYONU TEMELLİ GÖMÜLÜ İRİS TANIMA  
SİSTEMİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Elektronik ve Haberleşme Müh. Ahmet TEKYILDIZ**

**Ana Bilim Dalı : Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği**

**Danışman: Yrd. Doç. Dr. M. Kemal GÜLLÜ**

**KOCAELİ, 2011**

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ \* FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FAZ KORELASYONU TEMELLİ GÖMÜLÜ İRİS TANIMA  
SİSTEMİ**


**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ahmet TEKYILDIZ**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 08 HAZİRAN 2011**

**Tezin Savunulduğu Tarih: 03 AĞUSTOS 2011**

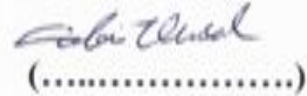
**Tez Danışmanı  
Yrd.Doç.Dr. M.Kemal GÜLLÜ**

  
(.....)

**Üye  
Doç.Dr. Oğuzhan URHAN**

  
(.....)

**Üye  
Doç.Dr. Cabir VURAL**

  
(.....)

**KOCAELİ, 2011**

## **ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR**

Biyometrik tanıma konusunda yapılan çalışmalar gün geçtikçe artmakta ve bazı biyometrik tanıma sistemleri günlük hayatımıza girmiş durumdadır. İris, en güvenilir biyometrik özelliklerden biri olmakla birlikte, iris tanıma sistemleri, yakın zaman içerisinde günlük hayatımıza kadar inecektir.

Bu tez çalışmasında iristen kimlik tespiti yapan özgün bir sistemin geliştirilmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır. İris bilgisinden tanıma yapmak, kişiye özel rassal iris örüntüsünü işleyerek kimlik tespitinin yapılması işlemidir. İris yapısı genetik olarak bağlılık gösterse de iris örüntüsü genetik bir bağlılık göstermemektedir. Ayırt edilebilirliği yüksek bu örüntü farklılığı, iris tanımının yapılabileceğinin göstergesidir.

Bu tez çalışması Sanayi ve Ticaret Bakanlığı tarafından, “İris Kamera” adlı ve 00324.STZ.2008-2 nolu SAN-TEZ projesi kapsamında desteklenmiştir.

Bu alanda çalışmamı sağlayan, hiçbir konuda desteğini esirgemeyen tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. M.Kemal GÜLLÜ'ye ve güzel bir çalışma ortamı sundukları için başta Prof. Dr. Sarp ERTÜRK ve Doç. Dr. Oğuzhan URHAN olmak üzere tüm KULİS ekibine ve her zaman için yanımda olan, desteklerini esirgemeyen aileme çok teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	iv
TABLolar DİZİNİ .....	vi
SİMGELER.....	vii
ÖZET .....	viii
ÖZET İNGİLİZCE .....	ix
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Biyometrik Tanıma .....	1
1.2. Gözün ve İrisin Yapısı.....	3
1.3. İris Tanıma.....	6
1.4. İris Tanımayla İlgili Literatürdeki Çalışmalar .....	7
1.5. İris Tanımayla İlgili Ticari Sistemler .....	8
1.6. Tezin Amacı.....	10
2. İRİS TESPİTİ .....	12
2.1. Literatür Taraması.....	12
2.1.1. Yüz bulma ile ilgili literatürdeki çalışmalar .....	12
2.1.2. İris bulma ile ilgili literatürdeki çalışmalar .....	13
2.1.3. İrisin standartlaştırılması için literatürde kullanılan yöntemler .....	16
2.2. Tez Çalışmasında Kullanılan Yöntemler .....	18
2.2.1. Yüz tespiti.....	18
2.2.2. Deneysel sonuçlar .....	23
2.2.3. İris tespiti .....	25
2.2.4. Deneysel sonuçlar .....	29
3. İRİSTEN KİMLİK TESPİTİ.....	31
3.1. Özellik Çıkartımı ile İlgili Literatürdeki Çalışmalar.....	31
3.1.1. Gabor süzgeçleri .....	31
3.1.2. Haar dalgacığı.....	31
3.1.3. Gauss süzgeçlerinin laplasyanı .....	32
3.2. Eşleştirme ile İlgili Literatürdeki Çalışmalar .....	32
3.2.1. Hamming uzaklığı.....	32
3.2.2. Öklid uzaklığı.....	33
3.2.3. Faz korelasyonu .....	33
3.3. Tez Çalışmasında Kullanılan Yöntemler .....	34
3.3.1. 1-bit dönüşümü ile özellik çıkartımı .....	34
3.3.2. Faz korelasyonu .....	40
3.4. Uyumlama Stratejisi.....	43
4. İRİS KAMERA DONANIMI.....	48
4.1. Tasarlanan İris Kamera Sistemi .....	48
4.1.1. Tasarlanan aydınlatma sistem.....	50
4.1.2. Görüntü alma .....	52

4.1.3. DSP tarafından yapılan işlemler .....	52
4.2. DSP-Sunucu Haberleşmesi.....	52
4.3. Sunucu Tarafında Yapılan İşlemler .....	53
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	57
KAYNAKLAR.....	59
ÖZGEÇMİŞ.....	63

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1: (a) Biyometrik tanıma sisteminin veritabanının oluşturulması, (b) doğrulama modunda ve (c) tanıma modunda çalışan biyometrik sistemler [1] .....	2
Şekil 1.2: Gözün yapısı [3].....	3
Şekil 1.3: a) İrisin enine kesiti, b) irisin önden görünüşü [6] .....	5
Şekil 1.4: İris tanıma blok diyagramı.....	6
Şekil 1.5: Kamera sistemi ile alınan görünür bölge (sol) ve kızılötesi bölge (sağ) aktif iris görüntüleri .....	6
Şekil 1.6: Panasonic BM-ET200 iris tanıma sistemi .....	9
Şekil 1.7: Lg iCAM4000, iris tanıma sistemleri [18] .....	9
Şekil 2.1: Normalizasyon .....	16
Şekil 2.2: İntegral imgesinin oluşturulması [22] .....	19
Şekil 2.3: İntegral imgesi üzerinde işlemler [22] .....	19
Şekil 2.4: Giriş imgesi ve integral imgesi .....	20
Şekil 2.5: Yüz bölgesi adayı.....	21
Şekil 2.6: 26x26 test kalıbı (Maske-1).....	21
Şekil 2.7: Maske-2 .....	22
Şekil 2.8: Maske-3 .....	22
Şekil 2.9: Tüm maskelerden geçmiş bölgeler .....	24
Şekil 2.10: Yüzün bulunamaması.....	24
Şekil 2.11: Örnek bir göz imgesi .....	26
Şekil 2.12: Filtreleme sonucu göz imgesi .....	26
Şekil 2.13: a) Siyah eşikleme, b) beyaz eşikleme sonrası elde edilen ikili imgeler .....	26
Şekil 2.14: a-b) Morfolojik kapama işlemi sonrası ikili imgeler, c) mantıksal VE işlemi sonrası elde edilen ikili imge. ....	27
Şekil 2.15: Mantıksal VE işlemi ile bulunan bölge merkezli siyah eşiklenmiş imge üzerinde yapılan arama işlemi .....	28
Şekil 2.16: Örnek bir imgede: a) bulunan iris iç ve dış çemberleri, b) normalize edilmiş iris .....	29
Şekil 2.17: CASIA veritabanındaki imgelerde iris sınırlarının hatalı bulunması.....	30
Şekil 2.18: CASIA veritabanındaki imgelerde iris sınırlarının doğru bulunması .....	30
Şekil 3.1: (a) Uzamsal düzlemde (b) frekans düzleminde standartlaştırılmış iris imgesi [33].....	34
Şekil 3.2: Orjinal imgenin (sol), 1 bit dönüşüm sonucu (sağ).....	35
Şekil 3.3: İrisin belirli bölgelere ayrılması.....	36
Şekil 3.4: İris kodunun üretilmesi.....	36
Şekil 3.5: 18 açısız ve 8 yarıçapsız bölge seçilmesi durumunda örnek imgeler için elde edilen ikili iris kodları.....	38
Şekil 3.6: 1-bit dönüşümü kullanılarak elde edilen sınıf içi-sınıf dışı benzerlik ölçütü .....	39

Şekil 3.7: 1 bit dönüşümü kullanılarak yapılan tanımda FAR-FRR grafiği .....	39
Şekil 3.8: Aynı kişiye ait iki farklı normalize iris imgesi .....	40
Şekil 3.9: Aynı kişiye ait normalize iris görüntüsünün faz korelasyon sonucu .....	41
Şekil 3.10: Farklı iki kişiye ait normalize iris imgeleri ve faz korelasyonu sonucu...41	
Şekil 3.11: Yüksek frekans bileşenleri atıldıktan sonra (sol) ve atılmadan önce (sağ), aynı kişiye ait iki iris imgesi için faz korelasyonu genliklerinin değişimi.....42	
Şekil 3.12: Yüksek frekans bileşenleri atıldıktan sonra (sol) ve atılmadan önce (sağ), farklı kişilere ait iki iris imgesi için faz korelasyonu genliklerinin değişimi.....42	
Şekil 3.13: Sınıf içi ve sınıf dışı benzerlik ölçütü.....43	
Şekil 3.14: Normalize edilmiş iris imgesinde tanıma için kullanılan dört ayrı bölge 44	
Şekil 3.15: 4 farklı bölge için sınıf içi – sınıf dışı benzerlik ölçütü.....45	
Şekil 3.16: Örnek bir giriş için 4 farklı karşılaştırma içinde en yüksek skoru veren 5'er kişi ID numarası .....	46
Şekil 3.17: Veritabanında kayıtlı olmayan bir kişi tarafından yapılan bir giriş sonrasında oluşan kişi dağılımı .....	47
Şekil 4.1: İris kamera sistemi .....	48
Şekil 4.2: Analog devices dijital video surveillance geliştirme kartı.....48	
Şekil 4.3: Adzs-usb-ice emülatörü.....50	
Şekil 4.4: Tasarlanan aydınlatma sistemi.....51	
Şekil 4.5: a) VisualDSP++ tarafındaki DVSK için yazılım geliştirme ortamı, b) sonucu kısmı arayüzü.....53	
Şekil 4.6: Örnek sonuç - 1 .....	54
Şekil 4.7: Örnek sonuç – 2 .....	55
Şekil 4.8: Örnek sonuç - 3.....55	
Şekil 4.9: Örnek sonuç - 4.....56	

## TABLolar DİZİNİ

Tablo 3.1: Bir bit dönüşümü ile kod eldesi 1 .....	36
Tablo 3.2: Bir bit dönüşümü ile kod eldesi 2 .....	37
Tablo 3.3: Bir bit dönüşümü ile kod eldesi 3 .....	37

## SİMGELER

$\mu$	: Ortalama Değer
$\sigma$	: Değişinti
$x_c, y_c$	: Merkez Koordinatları
$r$	: Yarıçap
$e$	: Euler Sayısı

## Kısaltmalar

CASIA	: Chinese Academy of Sciences' Institute of Automation
DMA	: Direct Memory Access
DSP	: Digital Signal Processor
EER	: Equal Error Rate
FAR	: False Acceptance Rate
FRR	: False Rejection Rate
FFT	: Fast Fourier Transform
H.M.	: Hamming Mesafesi
IFFT	: Inverse Fast Fourier Transform
PC	: Phase Correlation
PPI	: Parallel Peripheral Interface
VSK	: Video Surveillance Kit
WED	: Weighted Euclidian Distance

# FAZ KORELASYONU TEMELLİ GÖMÜLÜ İRİS TANIMA SİSTEMİ

**Ahmet TEKYILDIZ**

**Anahtar Kelimeler:** Biyometrik Tanıma, İris Tanıma, İris Tanıma Sistemleri, Faz Korelasyonu

**Özet:** Günümüzde biyometrik özelliklerden kimlik tespitine yönelik çalışmalar giderek artmaktadır. Ayrıca biyometrik kimlik tespitinin uygulama alanları da genişlemekte ve bu alanda ürünler piyasada önemli bir yer teşkil etmektedir. İris, yapısal olarak diğer organlarla karşılaştırıldığında biyometrik tanıma için daha tutarlı özelliklere sahiptir. Yaşa göre değişimi çok azdır ve dış etkenlerden iyi şekilde korunmaktadır. Bu özellikleri sayesinde biyometrik tanımda iris kullanımı, yüksek tanıma/doğrulama başarımları vermektedir. Günümüzde irise alternatif ya da tamamlayıcı olarak, yüz şekli, kollardaki damar şekilleri ve parmak izi gibi özellikler de kullanılmaktadır. Ancak bu özellikler kolayca deforme olabilmektedir. Bu tez çalışmasında, bir sayısal işaret işleyici ve ona bağlı görüntü algılayıcısı ile kızılötesi bölgede göz görüntüleri alınarak iris bölgesinin tespiti ve bu bölge kullanılarak kimlik tespiti yapan bir sistemin geliştirilmesine yönelik çalışılmıştır. Geliştirilen iris tanıma sistemi ile güvenlik gerektiren yerlerde giriş-çıkış kontrolü yüksek doğrulukta yapılabilmektedir. Bu sistem ile kullanıcılar sadece bir kameraya bakıp gerekli giriş izni alabilecek ve anahtar, şifre, kart kullanımı gibi ekstra kontrollerle uğraşmak zorunda kalmayacaklardır.

# **EMBEDDED IRIS RECOGNITION SYSTEM BASED ON PHASE CORRELATION**

**Ahmet TEKYILDIZ**

**Keywords:** Biometric Recognition, Iris Recognition, Iris Recognition Systems, Phase Correlation

**Abstract:** Nowadays, studies on identity recognition using biometric characteristics increases day by day. Furthermore, application fields of biometric identity recognition broadens, and it has an increasingly large share of the markets as an application. Iris has more stable features than the other organs in structural sense. Changes in the iris structure is so little according to the age and it is well protected from the environmental factors. Owing to these features, the use of iris in biometric recognition gives high detection/verification accuracy. In recent days, facial structures, vessel shapes on the arm, fingerprint and such are used individually or supplementary to the iris for biometric recognition. However, this features can be deformed easily. In this thesis, it is worked on a system that detects iris region in eye image captured in infrared band using an image sensor interconnected to a digital signal processor, and performs identity recognition on detected iris region. With the developed iris recognition system, entrance control can be performed with high accuracy. Persons will take the required permission for entry just only looking a camera and they won't have to deal with any extra controls like key, password or card, with this system.

# 1. GİRİŞ

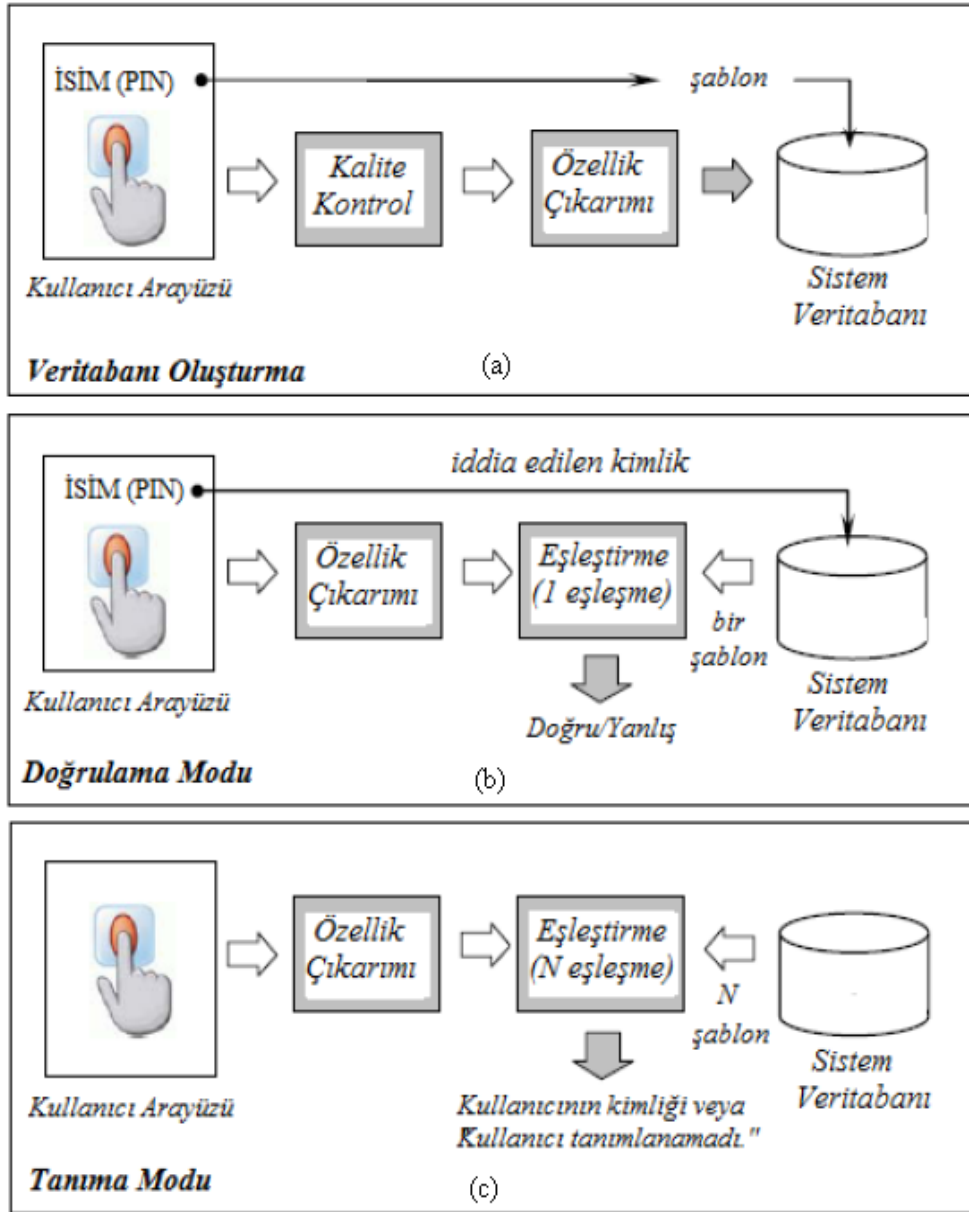
## 1.1. Biyometrik Tanıma

Biyometrik tanıma alanında gelişmekte olan teknoloji ve gereksinimler doğrultusunda, tanıma/doğrulama sistemleri kurumsal alanların yanında, günlük hayattaki uygulamalara kadar girmektedir. Günümüzde güvenlik sistemlerinde yaygın olarak kimlik, kart, şifre, PIN kodu kullanılması gerekmektedir. Biyometrik tanıma sayesinde bunlara gerek kalmayacaktır. Kişinin kendi fiziksel özelliklerinden tanıma işlemi yapılacaktır. Aşağıdaki gereksinimleri karşıladığı sürece insanın fizyolojik veya davranışsal karakteristiği, biyometrik karakteristik olarak kullanılabilir:

- \* Evrensellik : Her insan bu karakteristiğe sahip olmalıdır.
- \* Ayırdedicilik: Herhangi iki insan aynı karakteristikte yeterince farklı olmalıdır.
- \* Süreklilik: Karakteristik belli bir zaman dilimi içinde yeterince değişmez olmalıdır.
- \* Ölçülebilirlik: Karakteristik ölçülebilir olmalıdır [1].

Biyometrik sistemler bir kişinin sergilediği psikolojik ya da davranışsal özelliğinden türetilen özellik ile kişi tanıma işlemi yapan bir örüntü tanıma sistemidir [2]. Bir biyometrik tanıma sistemi doğrulama ve tanıma modunda çalışabilir. Doğrulama modunda, kullanıcının biyometrik verisinden elde edilen kimlik, veri tabanındaki aynı kullanıcıya ait şablon ile karşılaştırılmaktadır. Doğrulama modunda öncelikle bir kimlik iddia edilir. Bu işlem sisteme kart okutarak ya da şifre girerek yapılabilir. Bu iddia edilen kimlik ile kullanıcıdan alınan iris bilgisi karşılaştırılır. Bu sistemlerde çıkış verisi doğru-yanlış şeklinde olmaktadır. Tanıma modunda çalışan bir sistemde ise, kullanıcıdan elde edilen biyometrik veri, tüm veri tabanındaki verilerle karşılaştırılarak, bu verinin kime ait olduğu bulunmaya çalışılır. Bu sistemlerde çıkış verisi, bulunan kullanıcının kimliğidir. Eğer böyle bir kullanıcı veri tabanında yoksa sistem çıkışında kayıt bulunamadı şeklinde bir çıkış alınmaktadır. Şekil 1.1-a'da veri

tabanının oluşturulması gösterilmektedir. Şekil 1.1-b ve Şekil 1.1-c'de ise sırasıyla doğrulama ve tanıma modları gösterilmektedir. Sistem, doğrulama ya da tanıma modunda çalışabilmesi için veri tabanına ihtiyaç duymaktadır.



Şekil 1.1: (a) Biyometrik tanıma sisteminin veritabanının oluşturulması, (b) doğrulama modunda ve (c) tanıma modunda çalışan biyometrik sistemler [1]

Güvenlik gerektiren her alanda biyometrik tanıma kullanılabilir. Banka ATM'leri, havaalanı giriş-çıkış kontrolleri, personel takibi, hasta takibi, kişisel bilgisayar güvenliği, başlıca kullanım alanlarıdır.

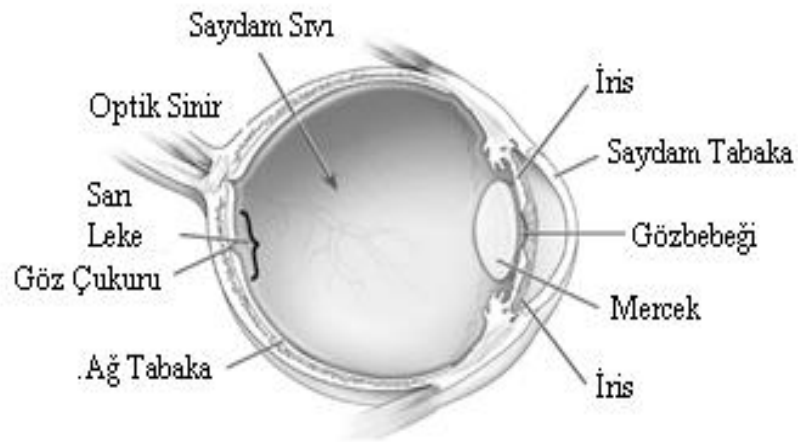
Çok farklı biyometrik tanıma sistemi mevcut olmakla birlikte, başlıca biyometrik tanıma sistemleri aşağıda verilmektedir:

- Parmak izi tanıma
- Yüz tanıma
- Ses tanıma
- İris tanıma
- Damar tanıma

İris, biyometrik karakteristik olabilme açısından, gerek süreklilik ve ayırt edicilik konusunda diğer biyolojik özelliklerden daha üstün ya da kullanışlı olması, gerekse iris yapısının yıllar içinde çok az değişim göstermesi ve dış etkilerden iyi şekilde korunması nedeniyle ön plana çıkmaktadır.

## 1.2. Gözün ve İrisin Yapısı

Göz, kafanın ön kısmında, kaş kemeri elmacık kemiği ve burun kemiği arasında kalan “orbita” adındaki göz çukurunda yer alan ortalama çapı 2.5 cm olan küresel bir organımızdır. Etrafi yağ dokusu ile çevrili olan göz 6 adet kas ile hareketini sağlamaktadır. Şekil 1.2’de gözün kesit görünümü verilmiştir.

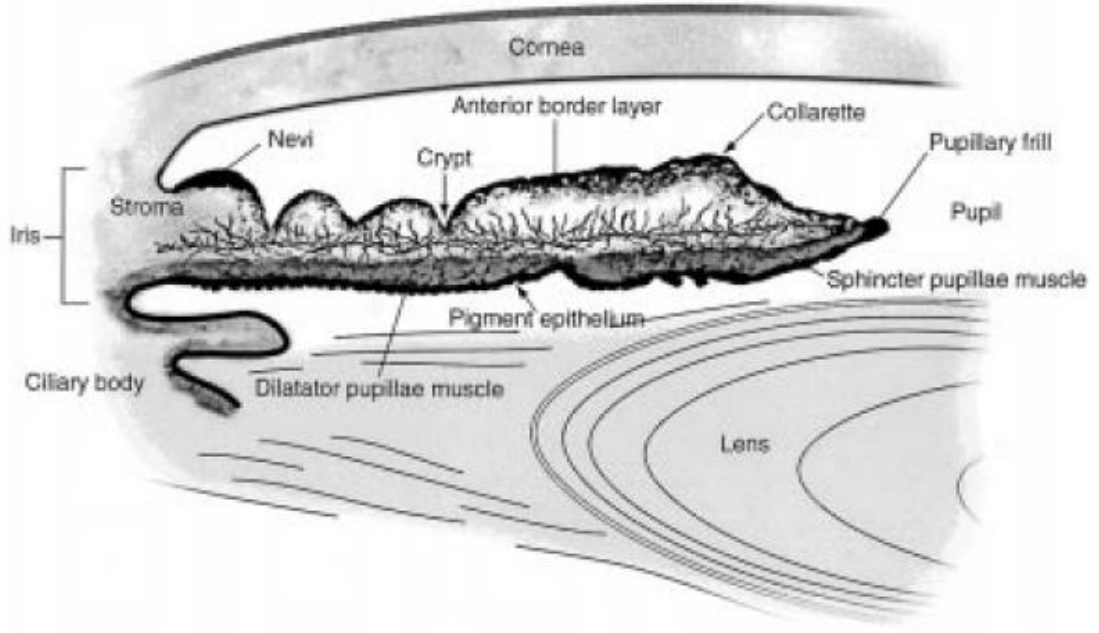


Şekil 1.2: Gözün yapısı [3]

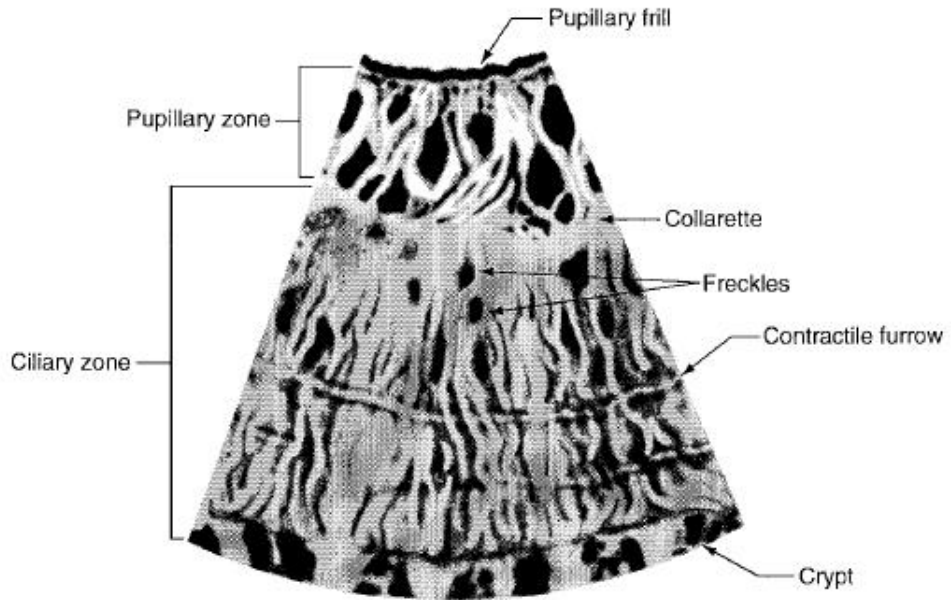
Retina tabakası gözün en iç kısmında, ışığın algılanmasını sağlayan koni ve çubuk hücrelerinin olduğu bölümdür. Gözü besleyen kan damarları retina tabakasının hemen altında yer alır. Gözün en dışında ise göz akı bulunmaktadır. Sarı leke, algıyı sağlayan koni ve çubuk hücrelerinin yoğunlukla bulunduğu bir noktadır. Göz merceğinden kırılan ışınlar bu noktaya odaklanmaktadır. Eğer ki ışınlar tam olarak bu noktaya odaklanamıyorsa, görüntünün net algılanamamasına neden olur.

İris, merkezinde bir açıklığı, gözbebeği (pupilla), bulunan ince kasılabilen bir zardır. Kornea ve mercek arasında yer alır. Merceğin ön yüzü dış bükeydir, irise hafif basınç yaparak irisin bir miktar öne doğru bombeleşmesine neden olur. Gözbebeğinin çapı 1-8 mm arasında değişir. İris, mercek ve kornea arasındaki boşluğu ön ve arka bölüm olmak üzere iki ayrı boşluğa ayırır. İrisin ön yüzeyinde epitel yoktur, bağ dokusu tarafından oluşturulan yönsel kıvrımlar vardır. Gözbebeği kenarında arka yüzdeki pigmente epitelin bir kısmını izlemek olasıdır. Patolojik durumlarda buradaki pigment epiteli öne doğru çekilebilir –Ektropionuvea-. Stroma: Kollajen lifler, fibroblastlar, melanositler ve intersellüler matriks içerir. Aynı zamanda damarlar, ve sinir lifleri de mevcuttur. Sfinkter kas; pupiller zonda yer alır, 1mm kalınlığında halka şeklindedir. Kasıldığı zaman pupilla küçülür, innervasyonu okulomotor sinirden köken alan ve silier gangliondan gelen parasempatik postganglionik liflerdir. Dilatatör kas; iris kökünden sfinkterkasına dek uzanan ince myoepitelyal bir tabakadır. Apikal prosesleri pigment hücrelerini bazal prosesler ise kas liflerini oluştururlar. Kasıldığı zaman pupilla genişler. Innervasyonu uzun silier sinirler aracılığı ile sempatik liflerdir. İrisin arka yüzeyindeki epitel nöroektodermden köken alır. Tepeleri karşılıklı gelecek şekilde iki tabakadır [4].

İrisin ortalama çapı 12mm'dir ve gözbebeğinin boyutu irisin çapının %10'undan %80'ine kadar değişebilir. Gözbebeği tam olarak irisin merkezinde değildir, hafifçe daha aşağıdadır [5].



(a)



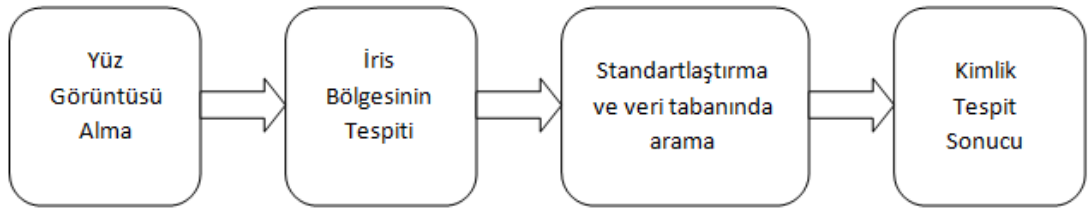
(b)

Şekil 1.3: a) İrisin enine kesiti, b) irisin önden görünüşü [6]

İris, her bir bireyde farklı bir örüntüye sahiptir. Sol ve sağ gözler birbirinden farklıdır. İris yapısı insanın hayatı boyunca değişmez kabul edilmektedir. Bu nedenlerden ötürü biyometrik tanımda tercih edilen yöntemlerden biridir. Şekil 1.3'de irisin enine kesiti ve önden görünüşü verilmiştir.

### 1.3. İris Tanıma

Biyometrik tanıma sistemlerinden iris tanıma, iris örüntüsünden bilgiler çıkartıp, bu bilgiyi veritabanındaki verilerle karşılaştırmayı kapsar. Alınan bir göz imgesinde iris bölgesi bulunup, bu bölgede bazı matematiksel işlemlerle, irisi temsil edecek bir şablon elde edilmekte ve veri tabanına bu haliyle kaydedilmektedir. Görünür bölge veya kızılötesi bölgesinde, pasif-aktif aydınlatma kullanılarak iris tanıma yapılabilmektedir. Şekil 1.4'de sistemin blok diyagramı görülmektedir.



Şekil 1.4: İris tanıma blok diyagramı

İris tanıma için çekilen görüntüler kızılötesi veya görünür bölge bandında olabilmektedir. Şekil 1.5'de görünür bölge ve kızılötesi bölgede çekilmiş iris görüntüleri gösterilmiştir. Eğer görüntü alma sisteminde bir ışık kaynağı mevcutsa, bu tip sistemlere aktif görüntüleme sistemi olarak adlandırılmaktadır. Ortam ışığını kullanan sistemlere ise pasif görüntüleme sistemi denilmektedir.



Şekil 1.5: Kamera sistemi ile alınan görünür bölge (sol) ve kızılötesi bölge (sağ) aktif iris görüntüleri

Kızılötesi bandında çekilmiş görüntüler, görünür bölge yansımalarından arındırılmış durumda olup, iris üzerindeki detay bilgi daha saf haliyle gözlemlenmektedir. İris üzerinde yansımaların olmaması, yansıma etkisini giderecek ekstra işlemlerin yapılması gereğini ortadan kaldırmaktadır.

#### **1.4. İris Tanımayla İlgili Literatürdeki Çalışmalar**

Daugman'ın önerdiği yöntem [5], öncelikle iris bölgesini tespit etmektedir. İrisin dış ve iç sınırları belirlenmektedir. İrisin öncelikle dış sınırını bulan bu yöntem, bulma işlemini tümeşik-türev operatörünü kullanarak yapar. İrisin dış sınırları bulunduğundan sonra iç sınırlarının hangi aralıkta olabileceği bellidir. Bu belirli aralıkta türev operatörü yardımı ile irisin iç sınırı bulunur. İrisin iç ve dış sınırları bulunduğundan sonra, kutupsal koordinatlardan kartezyen koordinata dönüşüm yapılır. Bu dönüşüm sonucunda boyutları daha önceden belirlenmiş bir dikdörtgen yapıda iris görüntüsü elde edilir. Bu işleme normalizasyon denilmektedir. Özellik çıkartımı için 2-B Gabor süzgeçleri kullanılır. Eşleşme içinse Hamming mesafesi hesaplanarak benzerlik ilişkisi belirlenir. Birebir eşleşmede hamming uzaklığı 0 olmaktadır. Algoritma yüksek oranda başarımlıdır. Bu yöntemi kullanan şirketlerin, kendileri yaptıkları testlerde yanlış bulma oranının sıfır olduğu rapor edilmiştir.

Wildes, Gauss süzgeçlerinin laplasyanının imge verisine uygulanmasından türetilen, yön bağımsız bant-sınırlı ayrıştırıcıyı kullanmaktadır [6]. İris sınırlarını bulmak için türev operatörü kullanılmaktadır. Wildes'in sistemi alt ve üst gözkapaklarını parabolik eğriler olarak modellemektedir.

Noh ve diğerlerinin yönteminde [7], iris sınırları bulmak için türev operatörleri kullanılmaktadır. Normalizasyon işlemi burada da yapılmaktadır. Diğer yöntemlerden ayıran fark ise kodlama işlemini PCA kullanarak yapmasıdır. Eşleşme işlemini de öklid uzaklığına bakarak karar vermektedir.

Lim ve diğeri [8], özellik çıkartımı için Haar dalgacık dönüşümünü kullanmaktadırlar. Haar dönüşümü sonucu iris imgesini temsil eden 87 bitlik bir veri oluşturulur.

Tze Weng Ng [9], yöntemlerinde Haar dalgacıklarını kullanmaktadır. Bu sistemde ana iki modül vardır. Birincisi özellik çıkartımı diğeri eşleştirme modülüdür. Standartlaştırılmış iris görüntüsüne histogram eşitleme yapılmaktadır. Histogram eşitleme yapılmış iris görüntüsü Haar dalgacık dönüşümü uygulanır. Sonuç olarak 348 adet katsayı üretilir. Bu katsayılar ikili iris koduna dönüştürülmektedir. Eşleştirme işlemi ise Hamming uzaklığı ile yapılmaktadır. CASIA veri tabanında %98.45 başarımlar göstermiştir.

### **1.5. İris Tanımayla İlgili Ticari Sistemler**

Literatürdeki iris tanıma algoritmaları ile çalışan iris tanıma sistemleri mevcuttur. İris tanıma sistemleri ile kullanıcıdan iris görüntüsü alınıp, kullanılan algoritma çalıştırılarak sonuç elde edilir. Birçok firma iris tanıma sistemlerini geliştirmiştir. Bunlardan bazıları şunlardır:

- Panasonic [10]
- LG [11]
- Oki [12]
- Siemens [13]
- Sagem [14]
- Iridian [15]
- L1id [16]

Panasonic firmasının ürettiği iris tanıma sistemleri, John Daugmann'ın geliştirdiği [5]'deki yöntemde anlatılan algoritmayı kullanmaktadır. Panasonic firmasının ürettiği BM-ET200 model iris tanıma sistemi Şekil 1.6 da görülmektedir.



Şekil 1.6: Panasonic BM-ET200 iris tanıma sistemi

İlgili sistemde, kullanıcı kafasını yakınlştırarak uygun uzaklığa getirmelidir. Uygun uzaklığa geldiğinde sistem uyarı vermektedir. Bu sayede en net iris görüntüsü elde edilmiş olacaktır. Bu sistemin 1.2 milyonda bir hatalı bulma oranı vardır [17]. Ön panele koyulan ayna sayesinde gözün hizalanması çok kolay olmaktadır. Elde edilen sonuçları sesli olarak bildirme özelliğine sahip olan sistem 14 dili desteklemektedir.

LG firmasının ürettiği iCAM4000 model iris tanıma sistemi Şekil 1.7 de görülmektedir. Bu sistem iris tanımanın yanında güvenliği artırmak için PIN ve kart sorgusu da yapabilmektedir. Bu kamera için kafanın uygun mesafeye getirilmesi Panasonic BM-ET200 sistemindeki kadar önemli değildir. Bu sistemde otomatik netleme özelliği vardır.



Şekil 1.7: Lg iCAM4000, iris tanıma sistemleri [18]

John Daugman'ın yöntemi, patentli [19 – 21] bir yöntemdir ve British Telecom, Sandia Labs, U.K. National Physical Lab, Panasonic, LG, Oki, EyeTicket, Sensar, Sarnoff, IBM, SchipholGroup, Siemens, Sagem, IriScan, ve Iridian firmaları tarafından test ya da ürün için yapılan milyonlarca iris tanıma denemesinde yanlış bulma oranının sıfır olduğu rapor edilmiştir [5].

Lim ve diğerlerinin [8] algoritmaları, Evermedia ve Senex firmaları tarafından geliştirilen iris tanıma sistemlerinde kullanılmıştır. Noh'un [7] algoritması da IriTech tarafından satılan IRIS2000 sisteminde kullanılmıştır.

## **1.6. Tezin Amacı**

Bu tez çalışmasında, iris tanıma için gerekli tüm aşamalar için özgün yöntemler geliştirilmiştir. Ayrıca, geliştirilen yöntemler gömülü bir donanım üzerinde koşturularak iris tanıma için kullanılabilir bir sistem tasarlanmış ve yöntemlerin başarımı bu sistem üzerinden değerlendirilmiştir. Algoritmalar, geliştirme aşamasının daha hızlı olabilmesinden dolayı MATLAB® ortamında geliştirilmiştir. Algoritma geliştirme aşamasında, literatürde mevcut iris veritabanlarının yanında, mevcut gömülü sistemden alınan görüntülerden faydalanılmıştır. Daha sonra, hedef donanım üzerinde çalışacak şekilde gerekli C kodları yazılmıştır. Amaçlanan sistemde kullanıcının kameradan 1-2 metre uzakta herhangi bir noktada durabilecektir. Sistem başlıca şu adımlardan oluşmaktadır:

- Yüz Bulma : Alınan görüntüde yüz bölgesinin tespiti
- İris Bulma: Yüz bölgesinin bulunmasından sonra, göz bölgesine yaklaşarak, otomatik netleme yaptıktan sonra alınan göz resminde iris bölgesinin çıkartımı
- Normalizasyon : İris bölgesinin boyutları belirlenmiş standart bir kalıp haline dönüştürülmesi
- Karşılaştırma: Normalize edilmiş iris görüntüsünün sunucuya gönderilip veritabanında arama yapılması

Yüz bölgesi bulma işlemi için yapısal özellikleri kullanarak yüz bulma işlemi yapan bir yöntem kullanılmıştır. İris bulma işlemi için tez çalışması kapsamında geliştirilen yeni bir yöntem denenmiştir. Normalizasyon için, kutupsal koordinatlardan kartezyen koordinatlara dönüşüm işlemi gerçekleştirilmiştir. Özellik çıkartımı için 1-bit dönüşümü yaparak özellik vektörü elde edilmiş ve başarıyı değerlendirilmiştir. Karşılaştırma işlemi için normalize edilmiş iris görüntülerini kullanan faz korelasyon tabanlı bir yöntem ve özellik vektörlerinin Hamming mesafesini kullanan yöntem denenmiştir.

Yüksek güvenilirliği nedeniyle iris tanıma sistemlerine olan gereksinimin de artacağı açıktır. Bu gereksinimin karşılanması için yurt dışında bulunan üreticilerin halihazırda farklı özellikte ürünleri mevcut olup, bu konuda yurt içinde ürüne yönelik Ar-Ge çalışması bulunmamakta olup, yurt içinde üretilen ürün de mevcut değildir.

Tez çalışması kapsamında, Analog Devices Firması'na ait, içerisinde Blackfin sayısal işaret işleyicisi barındıran sayısal video gözetim kiti (Digital Video Surveillance Kit) kullanılarak, yüzden iris bölgesini tespit edip alınan görüntüden iris kodunu çıkartan bir iris kameranın geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Görüntü almadan iris kodunun çıkartılmasına kadar bütün işlemlerin kamera üzerindeki sayısal işaret işleyici ile yapılması sayesinde, sunucu üzerinde işlem yükü azalacaktır.

Bölüm 2'de yüz bölgesinin tespiti, iris bölgesinin tespiti için literatürdeki çalışmalar incelenmekte ve bu tez çalışmasında yüz bulmaya yönelik geliştirilen yöntem detaylı olarak anlatılmaktadır. İris bölgesinin bulunması için tasarlanan algortima bu bölümde anlatılmıştır.

Bölüm 3'de iris bilgisinden özellik çıkartımı ele alınmıştır. Öncelikle literatürdeki çalışmalardan bahsedilmiş, sonra tezde kullanılan yöntem ve iris eşleme işlemi açıklanmıştır.

Bölüm 4'de ise tasarlanan sistemin çalışması verilmiş ve tanıma başarıyı değerlendirilmiştir.

## **2. İRİS TESPİTİ**

Bu tez çalışmasında ilk aşamada, kameradan alınan görüntüden yüz bölgesinin bulunmasına yönelik çalışmalar yapılmıştır. Bu aşama literatürdeki birçok iris tanıma sisteminde kullanılmamakta olup, alınan görüntüler genelde yüzün göz bölgesini kapsadığından doğrudan göz tespiti yoluna gidilmektedir. Yüz bölgesinin bulunmasından sonra yüz üzerinde göz bölgesine odaklanılarak iris görüntüsü elde edilmektedir. Elde edilen iris görüntü üzerinde iris bölgesinin tespit edilmesi gerekmektedir. Gerekli olan bilgiler, irisin iç ve dış sınır bölgeleridir. Bu bilgilerle iris bölgesi görüntünün tamamından ayrılabilen ve tanıma-doğrulama işlemleri bulunan bu iris imgesi üzerinden yapılmaktadır. Görüntü alınan sistem doğrudan göz resmi çekebiliyorsa yüz tespiti kullanılmayabilir.

### **2.1. Literatür Taraması**

Yüz bulma ve iris bulma ile ilgili literatürde yer alan bazı çalışmalar aşağıda genel hatları ile verilmektedir.

#### **2.1.1. Yüz bulma ile ilgili literatürdeki çalışmalar**

Yüz bulma ile ilgili literatürde farklı yaklaşımlar bulunmaktadır. Bunlardan temel olarak en sık kullanılanları, yüz rengine bağlı çalışan yöntemler ve yapısal özelliklere bağlı yüz bulma yöntemleridir. Bu nedenle aşağıda bu yaklaşımlar üzerinde durulacaktır.

##### **2.1.1.1. Viola ve Jones'un yöntemi [22]**

[22]'deki çalışmada, basit özellikler kullanarak sınıflandırma yapan sınıflandırıcılardan çok sayıda kullanarak yeni bir sınıflandırıcı elde edilmektedir. Bu sınıflandırıcıların hepsi özellik bazlıdır. Özellik bazlı yöntemler piksel bazlı

yöntemlerden daha hızlı çalışmaktadır [22]. Yöntem gri tonlu imgeler üzerinde çalışmaktadır, renkli bir giriş imgesi öncelikle gri seviyeye dönüştürülmektedir. Bu imge üzerinde yüz şeklini temsil edebilecek şablonlar gezdirilir. Bu şablonlar çok basit temel mantıklarla oluşturulmuş şablonlardır. Yüzün belirli bölgelerindeki ışıklılık seviyelerini temsil ederler. Bir şablon imge üzerinde gezdirilirken bir çıkış üretir, şablonun olduğu bölge bir yüze ait ise doğru, değilse yanlış sonucu üretilir. Bu mantıkla ardışıl farklı şablonlar uygulanır. Tüm şablonlardan doğru sonucu alındığında o bölge yüz bölgesi olarak işaretlenir. Şablonların test işlemi şablonlardaki belirlenmiş özel bölgelerin toplamlarıdır. Bu toplamlar değerlendirilerek doğru ya da yanlış şeklinde sonuca gidilir.

### **2.1.1.2. Yüz rengi ile bölütleme**

Renkli imgeler üzerinde, yüz renginin renk tonunu kullanarak çalışan yöntemler de mevcuttur. Bu yöntemlerde öncelikle yüz rengi modelleme yapılır. Yüz rengi modellemek için birçok yöntem mevcuttur. Gaussian modeli [23], Gauss karışım modeli [24] ve eliptik sınır [25] yaygın kullanılan modellerdir [26]. Model bulunduktan sonra arka plan imgesini ile yüz bölgesini ayırmak için kullanılır. Yüz bölgesinin ayrıldığı ikili imge ile, bu imgenin tersinin kenar bulma operatörü sonucu VE işlemini tutulur. Birbirinden ayrılmış bölgeler elde edilir. Bu bölgeler yüz adaylarıdır. Bu bölgeler incelenerek yüz bölgesi olup olmadığına karar verilir. Bu bölgeler buyut açısından incelenir. Yüz bölgesi olabilmesi için belirli bir büyüklükte olmalıdır. En ve boy oranına bakılır.

[27]'deki yöntemde, farklı uzaylarda bölütleme yapılmaktadır. Bunun için farklı üç uzay kullanılmaktadır. Bu uzaylar RGB, YCbCr, CIEL\*a\*b 'dır. Bu farklı uzaylarda yüz bölgeleri bölütlendikten sonra, birleştirilerek, yüz bölgeleri bulunmaktadır.

### **2.1.2. İris bulma ile ilgili literatürdeki çalışmalar**

Yüz bölgesinin tespitinden sonra, iris bölgesinin sınırları bulunması gerekmektedir. Literatürdeki bazı yöntemler aşağıda verilmiştir.

### 2.1.2.1. Daugman'ın tümleşik-türev operatörü

Daugman'ın yönteminde [5] iris bölgesinin bulunması için tümleşik-türev operatörü kullanılmaktadır. İris sınırlarındaki değişimden faydalanılarak bu bölge bulunmaya çalışılır. Bu operatör tüm görüntü üzerinde uygulanmaz. Öncelikle aday noktalar bulunur. Bu aday noktalarda daha önceden belirlenmiş yarıçap aralığında tümleşik-türev operatörü uygulanır. Değişimin maksimum olduğu nokta irisi bölgesinin dış sınırındır. Bu bölge bulunduktan sonra irisin iç sınırı da o bölgedeki değişimin yüksek olması dolayısıyla aynı şekilde bulunabilir. İrisin dış çapı bilindikten sonra iç çapının hangi aralıkta olabileceği bilinmektedir. (2.1)'de verilen tümleşik türev operatöründe,  $I$  göz imgesini,  $r$  aranan çap,  $G(r)$  Gauss düzgünleştirme işlevidir.

$$\max_{(r,x_0,y_0)} \left| G_{\sigma}(r) * \frac{\partial}{\partial r} \oint_{r,x_0,y_0} \frac{I(x,y)}{2\pi r} ds \right| \quad (2.1)$$

### 2.1.2.2. Hough dönüşümü

İris bölgesinin geometrik şeklinin daireye benzemesi nedeniyle iris sınırlarını bulmak için Hough dönüşümü kullanılabilir. Hough dönüşümü basit geometrik nesnelere algılayabilmek için kullanılan bir görüntü işleme algoritmasıdır. Wildes ve diğerleri [6] tarafından iris sınırlarını bulmak için kullanılmıştır. Hough yönteminde öncelikle imge üzerinde kenar bulma işlemi ve eşiklendirme işlemi yapılmaktadır. Bu işlemden sonra her kenar noktası, o noktayı sağlayan geometrik şekil parametreleri için oylar. Bu parametreler, denklem (2.2)'de gösterilen daireyi tanımlayabilen merkez koordinatları  $x_c$ ,  $y_c$  ve yarıçap  $r$ 'dir.

$$x_c^2 + y_c^2 - r^2 = 0 \quad (2.2)$$

Hough uzayındaki maksimum nokta bu denklemlerle belirtilen şekli en iyi tanımlayan noktayı verir. Daire için 3 parametresi vardır, Bunlar  $x$ ,  $y$  merkez noktası ve  $r$  yarıçaptır.

### 2.1.2.3. Aktif çevrit modelleri

Ritter ve diğerleri [28], gözbebeği ve iris sınırlarını belirlemek için dairesel aktif çevrit (active contour) modelini uygulamaktadırlar. Önce orijinal imgeden değişinti imgesi oluşturulmaktadır ve bu imge kullanılarak gözbebeğinin yeri bulunmaktadır. Daha sonra, gözbebeğinin merkezindeki bir başlangıç noktasından aktif çevrit başlatılmakta ve iç ile dış kuvvetlerin etkisi altındaki iris imgesi içerisinde hareket ettirilmektedir. Aktif çevritler, biri istenen karakteristiklere bağlı bir iç kuvvet, diğeri imgeye bağlı bir dış kuvvet olmak üzere, konumları iki karşıt kuvvet tarafından değiştirilen birçok tepe içermektedir.  $i$ ,  $v$  tepesinin konumu;  $i$ ,  $F$  iç kuvvet ve  $i$ ,  $G$  dış kuvvet olmak üzere; aktif çevrit boyunca,  $t$  ile  $t + 1$  zamanları arasında  $v$  tepesi (2.3)'de verildiği gibi hareket etmektedir.

$$v_i(t+1) = v_i(t) + F_i(t) + G_i(t) \quad (2.3)$$

İç kuvvet, süreklilik ve iris sınırının dairesel şekli gibi önceden bilinen diğer karakteristiklere dayanmaktadır. Dış kuvvet ise iris bölgesinin içindeki çevreyi kusatan tepenin iç ve dış gri-seviye yoğunluk değerlerine dayanmaktadır. Tekrarlanan çevre araştırması sonucunda, halkanın minimum enerjili ya da minimum ortalama değişintili denge noktası elde edilmektedir, bu da daha sonraki işlemler için kullanılacak son iris bölütlemesinin bulunmasını sağlamaktadır.

### 2.1.2.4. Kirpik ve gürültü algılama

Kong ve Zhang [29], göz imgesi içinde yalıtılabilecek ayrık kirpikler ve üst üste gelen grup halindeki kirpikler olmak üzere iki tip sorunun da yok edilmesini sağlayan bir kirpik bulma yöntemi sunmaktadır. Ayrılabilir kirpikler, Gauss düzgülendirme işleviyle konvolüsyonları düşük çıkış değeri sonucu verdiği için 1D

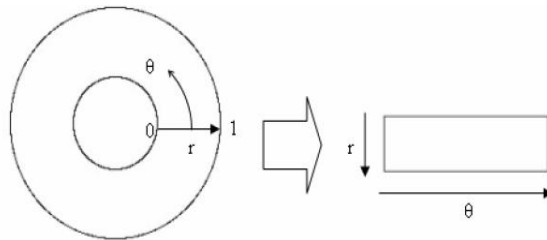
Gabor süzgeçleriyle bulunmaktadır. Bu yüzden meydana gelen nokta eşikten küçükse, bu nokta kirpiğe ait olarak belirlenmektedir. Çoklu kirpiklerse yoğunluğun değişimiyle bulunmaktadır. Eger küçük bir penceredeki yoğunluk değerlerinin değişimi bir eşikten küçükse, pencerenin merkezi kirpikte bir nokta sayılmaktadır. Aynı zamanda Kong ve Zhang modelinde, bir kirpikteki her noktanın kirpikteki veya gözkapağındaki başka bir noktaya bağlanması gerektiğinden, bağlayıcı ölçütleri de kullanmaktadır. Göz imgesi içindeki aynasal yansımalar, sözkonusu bölgelerdeki yoğunluk değerleri imge içindeki bütün diğer bölgelerden daha yüksek olacağı için, eşiklendirme yoluyla bulunmaktadır.

### 2.1.3. İrisin standartlaştırılması için literatürde kullanılan yöntemler

İris sınırları bulunduktan sonra standartlaştırma işlemi yapılır. Bu işlem sayesinde bulunan her iris bölgesi bilinen bir modele dönüştürülür.

#### 2.1.3.1. Daugman rubber sheet modeli

İrisin iç ve dış çemberleri biliniyorsa iris normalizasyonu işlemine geçilir. Normalizasyon işleminde irisın iç ve dış sınırları içinde kalan dairesel bölge, dikdörtgensel bir imgeye dönüştürülmektedir. Şekil 2.1 de bu işlem gösterilmiştir.  $r$ , irisın iç ve dış sınırları arasındaki uzunluk ve  $\theta$ ,  $[0, 2\pi]$  aralığında bir açı olmak üzere, iris bölgesindeki her noktayı bir çift kutupsal koordinata  $(r, \theta)$  dönüştürmektedir. İris bölgesinin  $(x, y)$  kartezyen koordinatlarından standartlaştırılmış kutupsal gösterime dönüştürülmesi, (2.4) ve (2.5)'de gösterildiği gibidir.



Şekil 2.1: Normalizasyon

$$\begin{aligned} x(r, \theta) &= (1-r)x_p(\theta) + rx_1(\theta) \\ y(r, \theta) &= (1-r)y_p(\theta) + ry_1(\theta) \end{aligned} \quad (2.4)$$

olmak üzere;

$$I(x(r, \theta), y(r, \theta)) \rightarrow I(r, \theta) \quad (2.5)$$

şeklinde ifade edilebilir.

### 2.1.3.2. Wildes ve diğerlerinin sistemi

Wildes ve diğerlerinin sistemi, yeni elde edilen  $I_a(x, y)$  imgesinin, veritabanındaki seçilmiş bir  $I_d(x, y)$  imgesiyle geometrik olarak aynı koordinata gelmesini sağlayan bir imge kayıt tekniği gerçekleştirmektedir [6]. Karşılaştırma yapılacak olan imgedeki yoğunluk değerlerinin, karşılaştırma yapılacak olan imgedeki aynı noktaya gelebilmesi için koordinat dönüşümü yapılmaktadır.

### 2.1.3.3. Boles'un sanal daireleri

Boles'un sisteminde, iris imgeleri öncelikle sabit bir çapa sahip olacak şekilde ölçeklendirilmektedir, böylece iki imge karşılaştırılırken, biri referans imge olarak düşünülmektedir [30]. Bu yöntem; önce standartlaştırmayı gerçekleştirip ilerdeki karşılaştırmalar için sonucu saklamak yerine, iki iris bölgesini eşleştirmeye başlamadan standartlaştırma yapmadığı için, diğer yöntemlere göre daha farklı çalışmaktadır. İki iris aynı boyutlara sahip olduğunda; başlangıç noktası, gözbebeğinin merkezinde olmak üzere; özellik vektörü, iris bölgesinden, sanal eş merkezli daireler boyunca yoğunluk değerlerinden elde edilmektedir. Her iristen çıkarılan veri noktalarının sayısının aynı olması için bir standartlaştırma çözünürlüğü seçilmektedir. Bu yöntem, temelde Daugman'ın lastik levha modeliyle aynı olmakla birlikte, ölçeklendirme, eşleştirme aşamasında yapılmaktadır ve belirli sabit boyutlara değil, karşılaştırılan iris bölgesine bağlıdır. Boles, gözün göz yuvasında dönmesi veya kameranın dönmesi gibi durumlarda, elde edilen giriş imgesiyle veritabanından alınan referans imgeyi nasıl aynı koordinatlara nasıl getirdiğine değinmemektedir.

## 2.2. Tez Çalışmasında Kullanılan Yöntemler

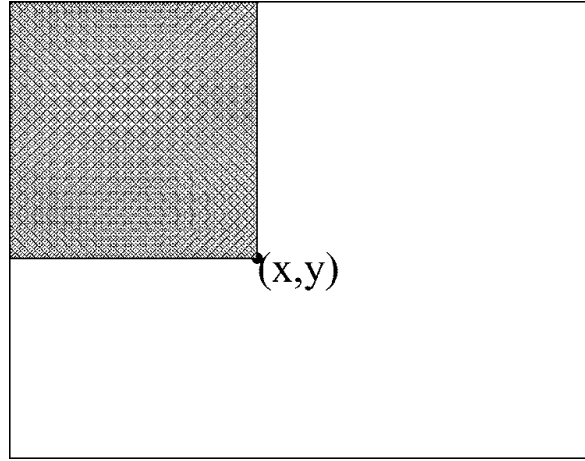
Tez çalışması kapsamında yüz bölgesi tespiti, iris tespiti yapılmıştır. Kirpik ve gözkapağı bulma işlemleri tez çalışmasına dahil edilmemiştir.

### 2.2.1. Yüz tespiti

İmgede öncelikle iris bölgesinden önce yüzler bulunmalıdır. Bulunan yüz bölgesinde iris bölgesi bulunacaktır. Giriş imgesi öncelikle işlem yükünü azaltmak amacıyla 320x240 boyutuna düşürülmektedir. İmge ilk önce gri tonlu imgeye dönüştürülmektedir. Gri tonlu imge üzerinde yüz bulma işlemi yapılmaktadır. Yapılan işlemler Vialo ve Jones [22] yöntemi tabanlıdır.

İnsan yüz yapısı belirli karakteristiği olan bir yapıdır. Düzgün aydınlatmalı bir sistemde belirli bölgeleri koyu renkte belirli bölgeleri açık renktedir. Örnek olarak kaş bölgesi alın bölgesinden kaslar nedeniyle daha koyudur, iki kas arasında bir açıklık vardır, vb gibi özellikler sayesinde resimde yüz bulunabilmektedir. Burada belirli bir büyüklükten başlatılan karesel bir şablonun, resim üzerinde gezdirilerek, şablon içine düşen kısmın yüze ne kadar benzediği testi yapılmaktadır. Yapılan tüm testleri başarıyla geçerse bu karesel bölge bir insanın yüz bölgesidir diyebiliriz.

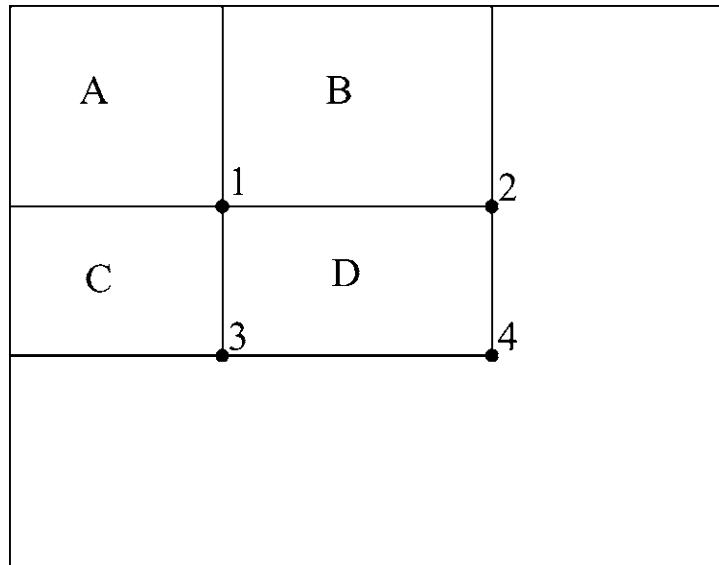
Bir resimde insan yüzünün büyüklüğü değişken boyutlarda olabilir o nedenle tarama yaparken şablon boyutları belirli adımlarla büyütülür. İmge üzerinde işlem yaparken imgenin belli bir bölgesinin piksel değerlerinin toplamı birçok kez kullanacağımız bir özellik olacaktır. Örnek olarak bir kaş bölgesini kapsayan bölge ile alın bölgesini kapsayan bölgeyi karşılaştırırken bu bölgelerin piksel değerleri toplamı gerekmektedir. Bu yöntemde kolaylık sağlamak amacı ile toplam imgesi (integral image) kullanılır. bu imge orijinal imgeden piksel toplamaları ile elde edilen bir imgedir.



Şekil 2.2: İntegral imgesinin oluşturulması [22]

Şekil 2.2'de gösterildiği gibi integral imge üzerindeki  $(x,y)$  koordinatındaki değer, orjinal imgede  $x$  satırından yukardaki ve  $y$  sütunundan önceki bölgedeki piksel değerlerinin toplamıdır ve eşitlik (2.6)'da verilmektedir. Orjinal imge  $I$  ile integral imgesi  $I_i$  ile gösterilmektedir.

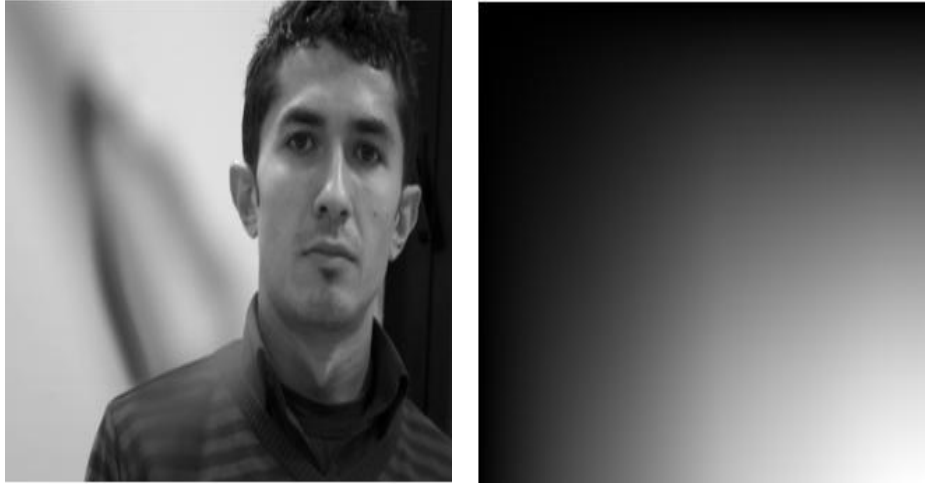
$$I_i(x, y) = \sum_{x' \leq x, y' \leq y} I(x', y') \quad (2.6)$$



Şekil 2.3: İntegral imgesi üzerinde işlemler [22]

Şekil 2.3’de gösterilen integral imge ile istenilen bir dikdörtgenel bloğun toplamını elde etmenin çok hızlı olacağı görülmektedir. İntegral imge üzerinde 1.noktadan okunan değer orjinal imge üzerindeki A bölgesinin piksel toplamını verecektir. 2. nokta ise A + B, 3. nokta A + C, 4. nokta ise A + B + C + D toplamını vermektedir. D bölgesi ise  $4 + 1 - (3 + 2)$  ile ifade edilebilir.

Öncelikle yüzlerin bulunması istenilen imgeden bir toplam imgesi oluşturulur. Şekil 2.4’de örnek bir imgenin orjinal hali ve imgenin toplam imgesinin görselleştirilmiş hali görülmektedir.



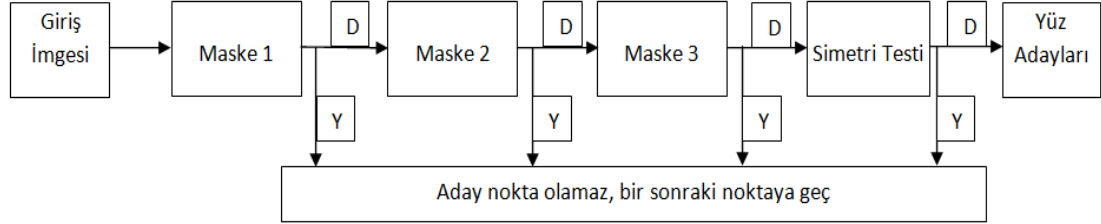
Şekil 2.4: Giriş imgesi ve integral imgesi

Bu işlemden sonra, belirli bir boyuttan başlamak üzere her seferinde boyutu artırılan bir kalıp/maske, imge üzerinde gezdirilerek bazı test işlemleri yapılır.

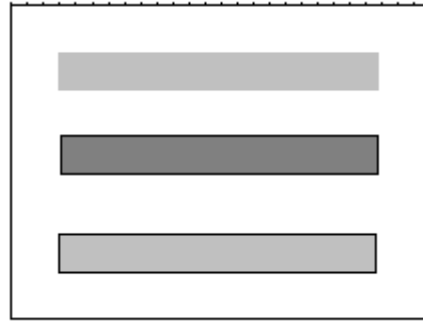
Bu kalıp yüzün belirli kısımlarını temsil eden olan bir kalıptır, ve yüz bölgesine tam olarak oturduğunda kalıbın belirli bölgesi yüzün belirli bölgesini gösteriyor olacaktır.

Bir bölgenin aday yüz bölgesi olup olmadığına karar verilmesi Şekil 2.5’de gösterilmektedir. Giriş imgesi üzerinde yüz adayı olup olmadığı belirlenecek bölge, sırasıyla maske1, maske2, maske3 ve simetri testlerinden geçer. Tüm testlerden geçtiği zaman bu bölge yüz adayı olarak belirlenir. Test işlemi giriş imgesi üzerindeki farklı bir bölge için devam eder. Giriş imgesinin taranması bittiği zaman

12 x 12 değerinden başlayarak maske boyutu her seferinde 1.2 kat büyütülmektedir. 10 farklı maske boyutu için tarama işlemi yapılmaktadır.

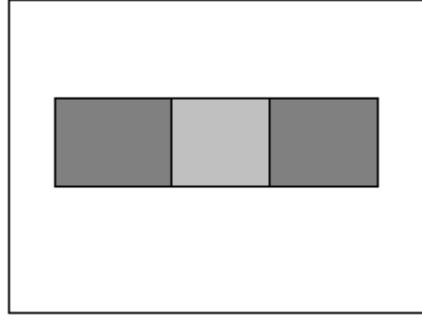


Şekil 2.5: Yüz bölgesi adayı



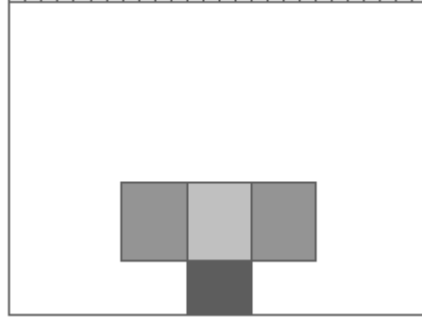
Şekil 2.6: 26x26 test kalıbı (Maske-1)

Şekil 2.6'de gösterilen kalıbın en dışındaki dikdörtgeni kalıp sınırları olarak düşündüğümüzde, işaretlenmiş yerler bazı özel yerleri temsil etmektedir. En üstteki bölge alın bölgesinde bir nokta, ortadaki nokta kaş ve gözlerin bulunduğu bir noktayı ve en alttaki nokta ise gözlerin altında burnun üstünde bir noktayı temsil eder. Bu bölgelerin ortalama piksel değerlerini bulabiliriz. Alın ve burun kısmı orta bölgedekinden daha yüksek piksel değerine sahip olmalıdır.



Şekil 2.7: Maske-2

Şekil 2.7'deki şablon içinde ortadaki blok iki kaş ve göz arasını belirtir. Diğer bloklar ise gözleri ve kaşları kapsayan bloklardır. Bu bloklardan ortadakinin ortalama piksel değeri diğer ikisinden yüksek olmalıdır.



Şekil 2.8: Maske-3

Şekil 2.8 'deki şablonda, üstteki ve ortadaki blok burnun uç kısmı, yanları ise burnun yanındaki kısımları ifade eder, alttaki blok ise dudak üstündeki bölgeyi ifade eder, genel olarak burnun uç noktası en aydınlık yer, dudak üstü ise en karanlık yerdir. Bu şablon çalışmaya özgün olarak kullanılmıştır. Maske-1 ve Maske-2, Viola ve Jones'un [22]'deki yöntemde önerilen maskelerdir.

Yüz yapısı burun noktasına göre simetrik olduğu için şablonun sağ ve sol yarılarının ortalaması yaklaşık birbirine eşit olmalıdır. Bu şartı sağlayan bölge simetri testinden geçecektir.

Bu testlerin hepsinin parametreleri vardır, mesela kaş bölgesi ile alın bölgesinin oranı belli bir aralıkta istenebilir, bu aralık ne kadar dar tutulursa o kadar çok eleme yapılacak demektir. Ortam şartlarına göre bu parametreler ayarlanarak en iyi sonucu verecek şekilde değer verilir. Her maske imge üzerinde gezdirilirken her bölge için maskenin özelliklerini sağlayıp sağlamadığına bakılır. Maske özelliklerinin sağlanması, maske üzerinde belirtilen bölgelerin kendi içlerinde daha önceden eğitim ile belirli olan oranları sağlaması demektir. Bu oran değerleri, eğitim yapılırken, yüz bölgesi olup olmadığı bilinen bölgelerde verdiği değerler incelenerek, en düşük hatayı verecek şekilde bir eşik seçilmektedir.

### **2.2.2. Deneysel sonuçlar**

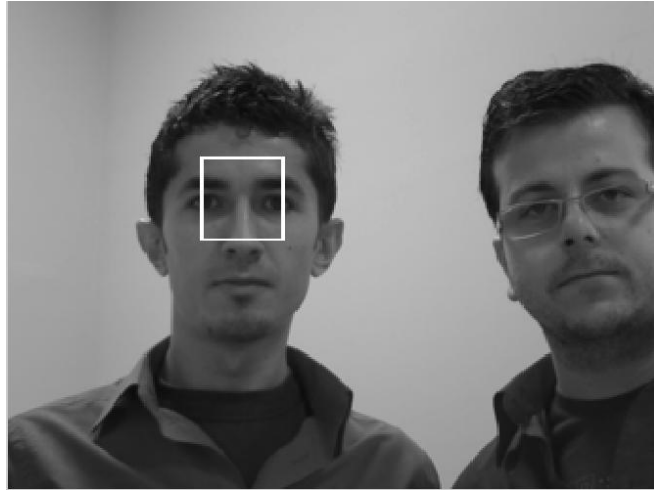
Şekil 2.9'da sistem yüz bulma işlemi sonucunda bulunan aday noktalar gösterilmiştir. Bu yöntem kişinin yüzü yandan görüldüğü durumda çalışmayacaktır. Bunun nedeni tasarlanan maskelerin yüze önden bakıldığı düşünülerek tasarlanmıştır.

İmge üzerinde bulunacak aday sayısına göre işlem süresi değişmektedir. 100 farklı imgede ortalama sonuç bulma süresi MATLAB® ortamında 2.5 sn'dir. Doğru tespit oranı %90'dır. Eğitim sürecinde ve test işlemlerinde yüzün kameraya dönük olduğu ve arka planın sade olduğu imgeler üzerinde çalışılmıştır. Bu şartlar altında literatürdeki yöntemlere göre kabul edilebilir bir oran olmaktadır. Arka plan sade olmadığı durumlarda hata oranı artacaktır. Bu durumda hata oranını azaltmak için eğitim verisini tekrar seçilip, daha uzun bir eğitim yapılmalıdır.



Şekil 2.9: Tüm maskelerden geçmiş bölgeler

Şekil 2.10'da iki adet yüz bulunması gerekiyorken sadece 1 adet bulunmuştur. Bunun nedeni gözlük kullanımından dolayı göz bölgesinde oluşan parlaklıklar ve kafanın eğik olma durumu 2. yüzün bulunmasına engel olmuştur. Maske ile imge üzerinde tarama sırasında maskenin açısı değiştirilmediği için, tasarlanan algoritma kafanın duruş açısına bağlıdır.



Şekil 2.10: Yüzün bulunamaması

### 2.2.3. İris tespiti

Bölüm 1.3’de bahsedilen aktif-pasif ve kızılötesi-görünür bölge iris imgelerinden, kızılötesi bandında çekilen aktif görüntüler kullanılmıştır. Bunun nedeni kızılötesi bandında alınan görüntüler üzerinde görünür bölgede çekilmiş görüntüdeki gibi çevresel yansımalar iris bölgesi üzerinde oluşmamaktadır ve iris bölgesi detaylı bir şekilde belirgin olmaktadır.

İrisin bulunmasını istediğimiz görüntü üzerinde yapılan ilk işlem siyah ve beyaz eşikleme işlemidir. Bu eşikleme işlemi için kullanılacak eşik değerleri dinamik olarak hesaplanmaktadır. Gözbebeği üzerine kızılötesi LED’lerin yansıtılması sonucu elde edilen görüntüde LED’ler ve gözbebeği bölgesindeki ışıklılık farkı maksimum olmaktadır. Bu farklılığın tespiti için (2.7)’de belirtilen çekirdek ile imge filtrelenir. Bu yüksek geçiren bir filtredir. Şekil 2.11’deki imgenin filtreleme sonucu Şekil 2.12’de gösterilmiştir.

$$k = [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ -1] \quad (2.7)$$

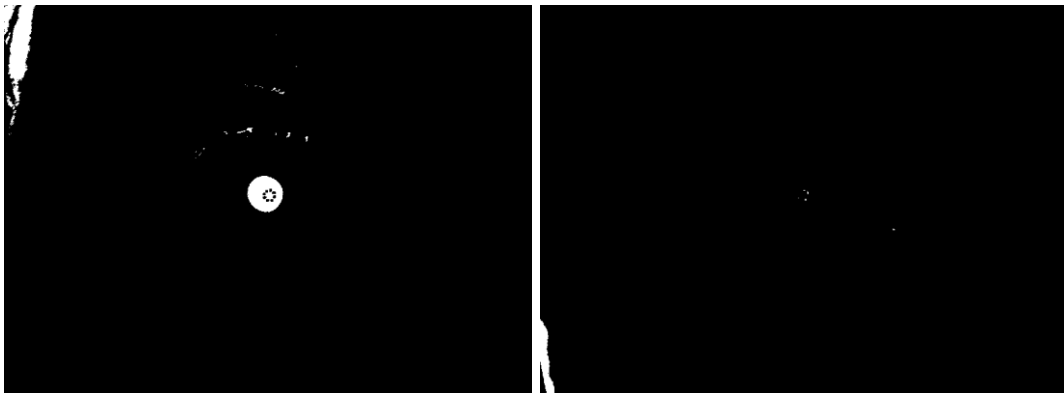
Filtrelenmiş imge üzerinde en büyük değere sahip nokta bulunur. Bu nokta imge üzerinde gözbebeği ve LED parlaması geçiş sınırını vermektedir. Bu noktadan itibaren 20 uzunluklu bir vektör belirlenerek bu vektör boyunca piksel değeri 60 değerinin altında olanların ortalaması alınır. Bu değere 30 değeri eklenerek siyah eşik değeri elde edilmiş olur. Filtrelenmiş imgede maksimum değeri veren nokta hesabında, farkları alınan iki noktadan değeri büyük olandan 30 değeri çıkartılarak beyaz eşik değeri bulunmaktadır. Şekil 2.11’de VSK ile alınan bir göz görüntüsü verilmektedir. Görüldüğü üzere, en açık ve en koyu tonlu piksel gruplarının gözbebeği bölgesinde toplandığı görülmektedir. Şekil 2.13’de ise siyah ve beyaz eşiklemeler ile elde edilen imgeler verilmektedir.



Şekil 2.11: Örnek bir göz imgesi



Şekil 2.12: Filtreleme sonucu göz imgesi

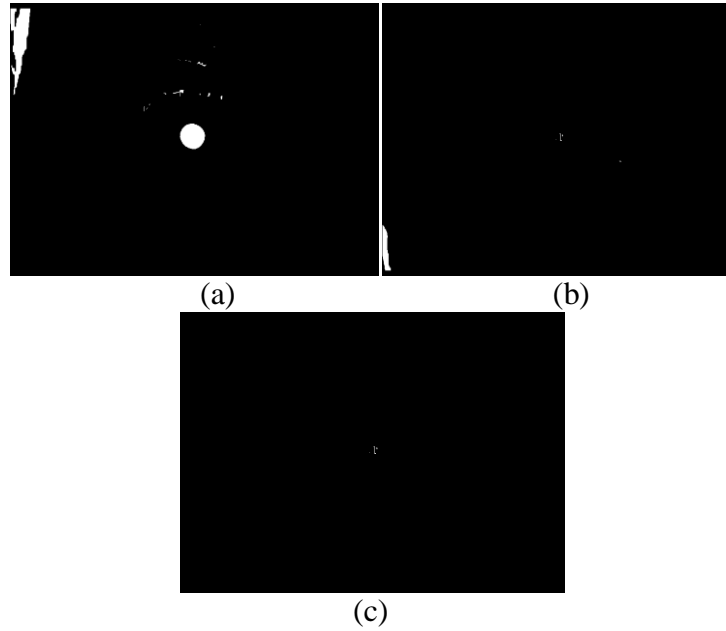


(a)

(b)

Şekil 2.13: a) Siyah eşikleme, b) beyaz eşikleme sonrası elde edilen ikili imgeler

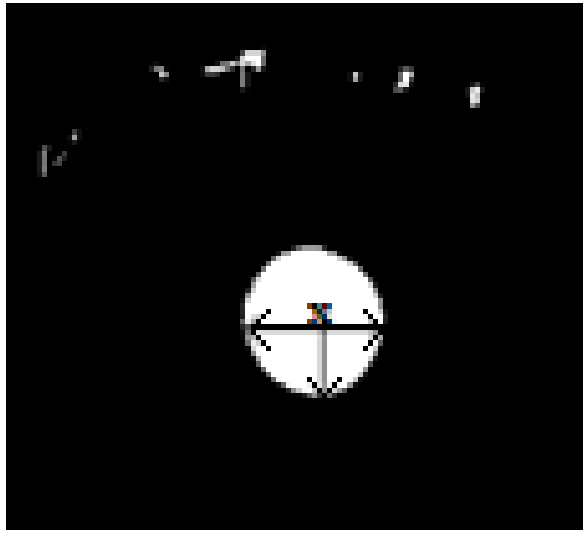
Bu ikili imgelerdeki mantıksal 1 olan bölgelerin bir arada bulunduğu yerin (gözbebeği bölgesi) tespiti için her iki imgeye morfolojik kapama işlemi uygulanmaktadır. Bu işlem sayesinde orjinal görüntüdeki en koyu ve en açık tonlu bölgelerin bir kesişimi oluşmakta ve bu sayede gözbebeği içerisinde bir bölge tespit edilebilmektedir. Morfolojik kapama işlemleri sonrasındaki ikili imgelerden aynı bölgeye ait kesitler ve bu iki kesit imgesinin mantıksal VE işlemi sonrasında elde edilen ikili imge Şekil 2.14’de verilmektedir.



Şekil 2.14: a-b) Morfolojik kapama işlemi sonrası ikili imgeler, c) mantıksal VE işlemi sonrası elde edilen ikili imge.

Şekil 2.14-c’den görüldüğü gibi, mantıksal VE işlemi sonrasında elde edilen beyaz bölge gözbebeğinin içerisinde bir bölgeyi temsil etmektedir. Dolayısıyla bu bölge gözbebeğinin bulunması için bir ön bilgi olarak kullanılabilir. Bu amaçla siyah eşiklenmiş ve kapanmış ikili imgede gözbebeği bölgesi net şekilde belli olduğundan (Bkz. Şekil 2.14-a), bu imge üzerinde, bulunan bölge merkezli bir arama stratejisi uygulanmaktadır. Şekil 2.14-c’de bulunan şeklin ağırlık merkezi yaklaşık olarak iris gözbebeği merkez noktasını vermektedir. Şekil 2.14-a ‘da elde edilen imge üzerinde bu koordinat noktası bulunur. Şekil 2.15’de ‘x’ ile gösterilen nokta olmaktadır. ‘x’ noktasından sola, sağa ve aşağıya doğru 3 adet vektör tanımlanır. Bu

vektörlerin başlangıç noktası 'x' noktası, bitiş noktası ise beyaz-siyah geçiş noktasıdır. Bu geçiş noktaları gözbebeğinin sınırlarına karşılık gelmektedir. Her adımda bu üç vektörün uzunluğu hesaplanır. Gözbebeğinin dairesel bir yapısı olduğu için bu üç vektör birbirine eşit olduğunda 'x' noktası merkez nokta olacaktır. Üç vektörün uzunlukları değerlendirilerek 'x' noktası değiştirilir ve aynı işlemler üç vektör birbirlerine en yakın eşitliği sağladığı zamana kadar tekrarlanır. Bu şart sağlandığında 'x' noktası gözbebeği merkezidir ve vektörlerin uzunlukları da yarıçap değeridir.

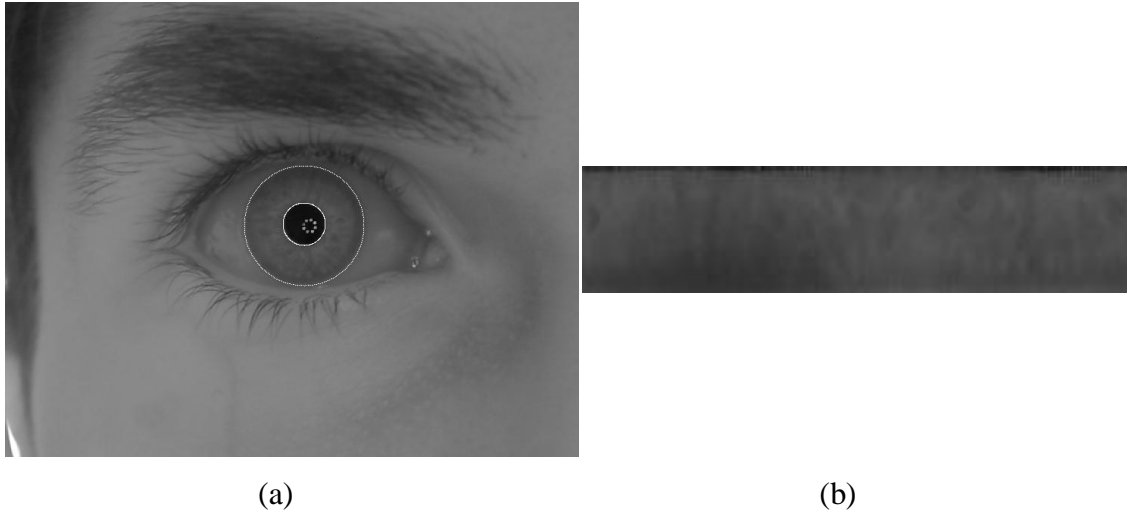


Şekil 2.15: Mantıksal VE işlemi ile bulunan bölge merkezli siyah eşiklenmiş imge üzerinde yapılan arama işlemi

İrisin iç çemberi bulunduktan sonra dış çemberi için de belirli bir yarıçap ve koordinat aralığında tümleşik türev değerlerine bakılmaktadır. Türev değerinin maksimum olduğu yer iris ile beyaz bölge geçiş noktasını verecektir. Bu şekilde irisin dış çemberi de bulunmuş olur. Tasarlanan sistem ile çekilen iris görüntülerinde veya CASIA veri tabanında irisin dış yarıçapı yaklaşık olarak eşit olmaktadır. O nedenle irisin dış yarıçapını ararken, gözbebeği yarıçapından büyük ve belirlenmiş sabit bir yarıçaptan küçük olan aralıkta arama işlemi yapılmaktadır.

Normalizasyon işlemi de Daugman'ın Rubber Sheet modeli kullanılarak elde edilmiştir. Şekil 2.16'de iris görüntüsünün standartlaştırma işlemi gösterilmektedir.

Bu işlem iç ve dış yarıçapı değişebilen iris görüntüsünü, boyutları belirlenmiş dikdörtgenel bir bölgeye dönüştürmektedir. Normalizasyon işlemi gözbebeğinin ışıklılığa bağlı olarak değişim göstermesinin tanıma işlemine olumsuz etkisini azaltacaktır. Normalizasyon işlemi sırasında ara değerlendirme işlemine gerek duyulmaktadır. Bunun nedeni normalizasyon sonrası irisin iç ve dış sınırları eşit uzunluğa getirilmektedir. Bu nedenle iç sınır çizgisinin uzaması gerekmektedir. Ara değerlendirme işlemi komşu piksellerin ortalaması alınarak yapılmıştır.



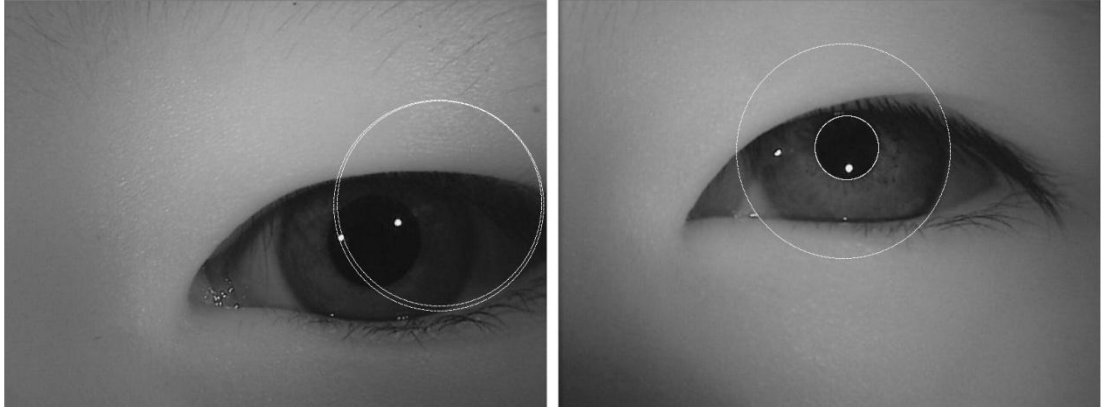
Şekil 2.16: Örnek bir imgede: a) bulunan iris iç ve dış çemberleri, b) normalize edilmiş iris

#### 2.2.4. Deneysel sonuçlar

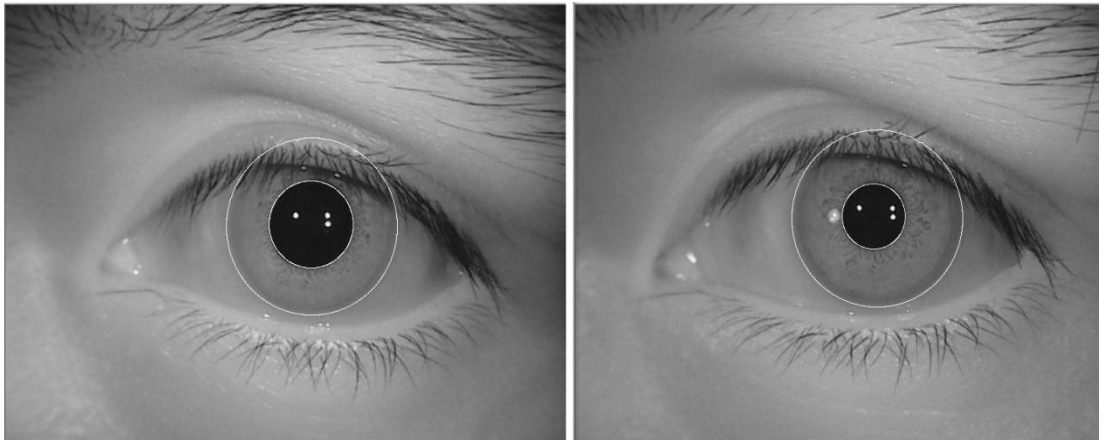
Tezde tasarlanılan sistem kullanılarak alınan 500 görüntü üzerinde iris bölgesi tespit başarımı %100'dür. Bu sistem ile iris bölgesinin bulunabilmesi için göz resmi çekilirken, kullanıcının kameraya doğru bakması şartı vardır. Alınan görüntülerin tümünde kullanıcı kameraya doğrudan bakmıştır. Kameraya yandan bakıldığı durumlarda, IR aydınlatmanın oluşturduğu parlamalar gözbebeğinin dışına taşabileceğinden, gözbebeğinin bulunmasında sorun yaşanabilecektir. Ayrıca, iris sınırları eliptik bir yapıya dönüşeceğinden, dairesel arama yaklaşımı ile sınırların tespiti sorunlu olabilecektir.

CASIA veri tabanında 500 göz imgesi üzerinde yapılan denemelerde, %92 tespit başarımı elde etmiştir. Tasarlanan algortimanın, bu tez çalışmasında tasarlanan kızılötesi aydınlatma yapısına uygun olarak tasarlanmış olması başarımı negatif yönde etkilemiştir. Şekil 2.17'de CASIA veritabanında iris sınırlarını bulurken başarısız olunan imgelerden bazıları verilmiştir. Şekil 2.18'da da CASIA veritabanında iris sınırlarını başarı ile bulduğu görüntülerden bazıları verilmiştir.

CASIA veri tabanında irisin iç yarıçapını doğru bulma oranı %99 olarak tespit edilmiştir fakat iris bulma başarımının %92 seviyesine düşmesindeki en büyük neden, iris dış sınırlarının hatalı bulunmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 2.17: CASIA veritabanındaki imgelerde iris sınırlarının hatalı bulunması



Şekil 2.18: CASIA veritabanındaki imgelerde iris sınırlarının doğru bulunması

### 3. İRİSTEN KİMLİK TESPİTİ

İris bölgesinin bulunması ve standartlaştırılmasından sonra, diğer iris imajları ile karşılaştırma yapılabilmesi için özellik çıkartımı yapılması gereklidir. Literatürdeki özellik çıkartımı ve tez çalışmasında kullanılan yöntemler bu bölümde açıklanmıştır.

#### 3.1. Özellik Çıkartımı ile İlgili Literatürdeki Çalışmalar

Elde edilen iris görüntüsü kullanılarak, iris yapısına bağlı özellik vektörü çıkartılmaktadır. Bu işlem için literatürdeki bazı çalışmalar aşağıda verilmiştir.

##### 3.1.1. Gabor süzgeçleri

Gabor süzgeci bir sinüs işaretinin, Gauss ile modüle edilmesinden elde edilir. Daugman, iris örüntü verisini kodlamak için Gabor süzgeçlerinin 2 boyutlu bir versiyonunu kullanmaktadır[5]. 2-boyutlu Gabor süzgeç denklemi (3.1)'de verilmiştir.

$$G(x, y) = e^{-\pi[(x-x_0)^2/\alpha^2 + (y-y_0)^2/\beta^2]} e^{-2\pi j[\mu_0(x-x_0) + \nu_0(y-y_0)]} \quad (3.1)$$

Daugman, veriyi sıkıştırmak için Gabor süzgeçlerinin çıkışında elde edilen işareti demodüle etmektedir [5]. Bu işlem faz bilgisinin 4 seviyeye nicemlenmesi ile yapılmaktadır. Standartlaştırılmış imgede bu 4 seviyeye çekilmiş her bir piksel değeri 2 bit ile temsil edilir ve bu şekilde iris için kod üretilmiş olur.

##### 3.1.2. Haar dalgacığı

Haar dalgacığı da Gabor gibi ana dalgacık olarak kabul edilir. Lim ve diğerleri [8] çalışmalarında kod üretimi için Haar dalgacığını kullanmışlardır. Çok boyutlu bir süzgeçleme sonucunda 87 bit uzunluğunda bir özellik vektörü elde edilmektedir.

### 3.1.3. Gauss süzgeçlerinin laplasyanı

Wildes ve diğerlerinin sistemi özellik çıkarımı için, iris bölgesi imgesine Gauss süzgeçlerinin Laplasyanını uygulayarak iris bölgesini ayırtmaktadır. Süzgeçler denklem (3.2)'deki gibi verilmektedir.

$$\Delta G = -\frac{1}{\pi\sigma^4} \left(1 - \frac{\rho^2}{2\sigma^2}\right) e^{-\rho^2/2\sigma^2} \quad (3.2)$$

Burada  $\sigma$  Gauss işlevinin standart sapmasını,  $\rho$  ise bir noktanın süzgecin merkezine olan radyal uzaklığını göstermektedir. Süzgeçlenmiş imge, veriyi sıkıştırabilen bir Laplasyan piramidi şeklinde temsil edildiğinden, geriye sadece anlamlı veri kalmaktadır. Laplasyan piramitlerinin ayrıntıları, Burt ve Adelson [31] tarafından sunulmuştur. Bir Laplasyan piramidi, sıkıştırılmış bir iris sablonu üretmek üzere 4 farklı çözünürlük seviyesi ile oluşturulmaktadır.

### 3.2. Eşleştirme ile İlgili Literatürdeki Çalışmalar

İris bilgisinden elde edilen özelliklerin birbiri ile karşılaştırmasını sağlayan ve benzerlik ölçütü veren yöntemlerden bazıları aşağıda verilmiştir.

#### 3.2.1. Hamming uzaklığı

Aynı uzunluklu iki vektör arasında, karşılıklı gelen bitlerin kaçının aynı olduğunu gösteren bir uzaklıktır. X ve Y karşılaştırılan bit vektörleri olmak üzere hamming uzaklığı (3.3)'de gösterilmiştir.

$$HM = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N XOR(X_j, Y_j) \quad (3.3)$$

X ve Y birebir aynı olduğunda sonuç 0 olacaktır. Bu durum mükemmel eşleşme durumudur. Hamming mesafesi 0 ile 1 arasında değer almaktadır. Eğer tüm bitler birbirinden farklı ise 1 değerini alacaktır.

### 3.2.2. Öklid uzaklığı

Ağırlıklı Öklid Mesafesi (Weighted Euclidean Distance - WED), özellikle sablonların tamsayı değerlerden oluştuğu durumlarda, iki sablonu karşılaştırmak için kullanılmaktadır. Ağırlıklı Öklid mesafesi iki sablon arasındaki değerler kümesinin benzerliğinin bir ölçütünü vermektedir. Bu ölçüt Zhu ve diğerleri [32] tarafından uygulanmıştır ve (3.4)'deki gibi tanımlanmaktadır.

$$WED(k) = \sum_{i=1}^N \frac{(f_i - f_i^{(k)})^2}{(\delta_i^{(k)})^2} \quad (3.4)$$

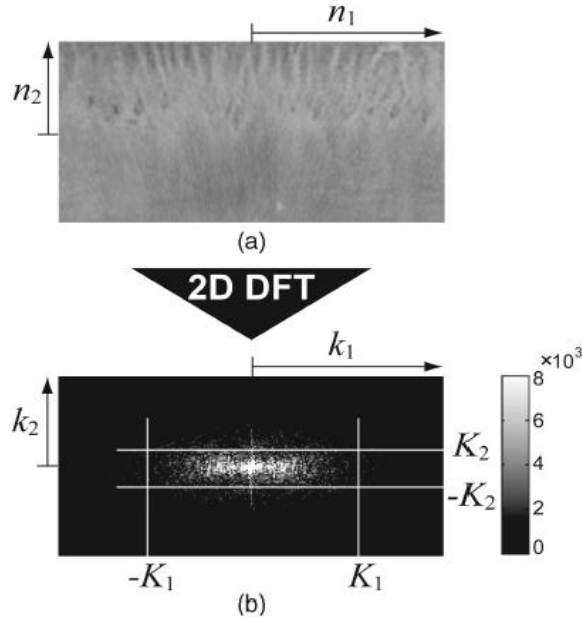
Burada  $f_i$  bilinmeyen irisin  $i$ . özelliğini,  $f_i^{(k)}$  iris şablonunun  $i$ . özelliğini,  $k$  ve  $\delta_i^{(k)}$  ise  $k$  iris şablonundaki  $i$ . özelliğin standart sapmasını göstermektedir. Bilinmeyen iris şablonu, WED  $k$ 'da bir minimum iken,  $k$  iris şablonuyla eşleştirilerek bulunmaktadır.

### 3.2.3. Faz korelasyonu

İris imgesi arasındaki faz korelasyonu aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır.

$$S(I_{N1}, I_{N2}) = F^{-1} \left[ \frac{F_{N1}(u, v) \times F_{N2}^*(u, v)}{|F_{N1}(u, v) \times F_{N2}^*(u, v)|} \right] = F^{-1} [e^{j(ud_x + vd_y)}] = \delta(x + d_x, y + d_y) \quad (3.5)$$

Bu eşitlikte  $d_x$  ve  $d_y$  iki imge arasındaki ötelemeyi göstermektedir. Aynı iki imge için faz korelasyonu yüzeyi tepe genliği 1 iken, imgeler birbirinden farklı ise 1'den daha küçük bir genlik elde edilmektedir. Eğer iki imgenin benzerliği çok düşük ise faz korelasyonunun en büyük genliği sıfıra yaklaşmaktadır. Bu yaklaşımla iris imgeleri arasındaki benzerlik tespit edilebilmektedir.



Şekil 3.1: (a) Uzamsal düzlemde (b) frekans düzleminde standartlaştırılmış iris imgesi [33]

[33]'deki çalışmada şekil 3.1 deki gibi yüksek frekans bileşenleri atıldıktan sonra yapılan faz korelasyonu daha başarılı bir ayırım sunmaktadır.

### 3.3. Tez Çalışmasında Kullanılan Yöntemler

İris bölgesinden bilgi çıkartımı için tez kapsamında biri 1-bit dönüşümü ile kod çıkartımı ve faz korelasyonu temelli iki yöntem denenmiştir.

#### 3.3.1. 1-bit dönüşümü ile özellik çıkartımı

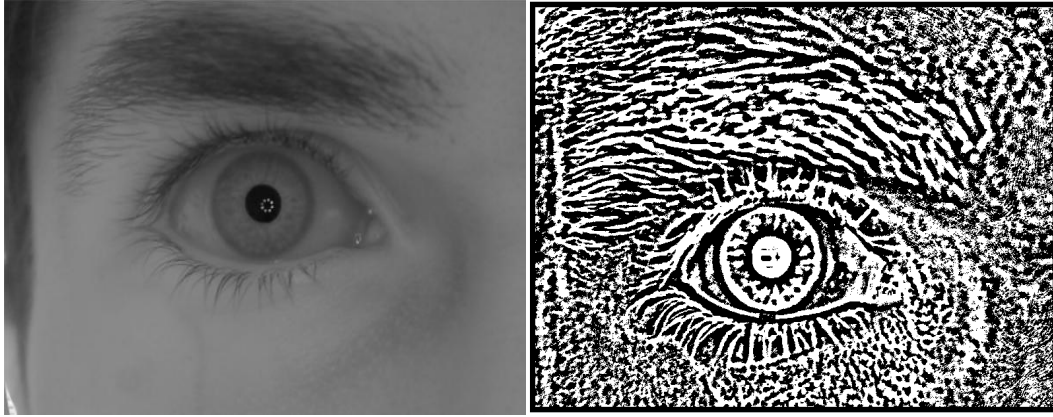
İris bölgesinin sınırları bulunduğundan sonra, bu bölge için sayısal bir kod üretimi yapılması gerekmektedir. Bu başlık altında 1-bit dönüşümü ile iris bölgesinden kod çıkartımı anlatılacaktır.

$I$ , orjinal görüntü ve  $K$  da bir çekirdek olmak üzere;  $I$  imgesinin  $K$  çekirdeği ile filtrelenmesi sonucu oluşan imge  $I_F$  olmaktadır.  $I_F$  ve  $I$  imgesinin elemanlarının büyüklük açısından birebir karşılaştırılıp elde edilen ikili imge bir bit dönüşüm imgesidir.

(3.6)'da tez kapsamında kullanılan çekirdek verilmiştir. Bu çekirdeğin özelliği çoklu bant geçiren bir filtre olmasıdır. (3.7)'de  $K$  çekirdeği ile filtrelenmiş imge ve orjinal imge kullanılarak, 1-bit dönüşüm imgesinin eldesi gösterilmiştir. Şekil 3.2'de bir imgenin orjinal hali ve 1-bit dönüşüm hali verilmiştir.

$$K(i, j) = \begin{cases} 1/25 & i, j \in [0, 4, 8, 12, 16] \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (3.6)$$

$$B(i, j) = \begin{cases} 1 & \text{Eğer } I(i, j) \geq I_f(i, j) \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (3.7)$$

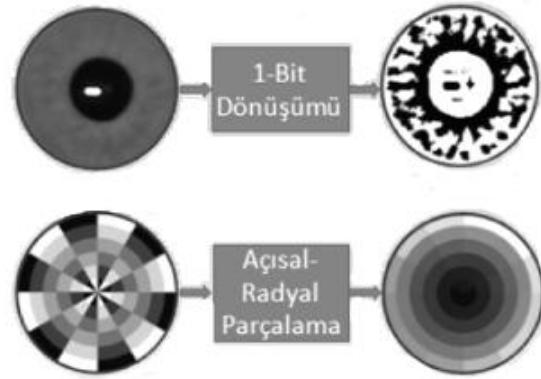


Şekil 3.2: Orjinal imgenin (sol), 1 bit dönüşüm sonucu (sağ)

İris bölgesi öncelikle orijinal imgenin bir bit dönüştürülmüş hali üzerinden, parçalara bölünmektedir ve her bir parça için bir bit atama yapmaktadır. Bölünecek parça sayısı değişebilir. radyal olarak  $N$  parça, yarıçap olarak  $M$  adet parçaya bölünürse sonuç olarak  $N \times M$  uzunluğunda bir bit dizisi elde edilmiş olur. Bu bitlerin sıralanması ile ilgili göze ait kod çıkartılmış olur. 1-bit dönüşümünde kullanılan çekirdek sabit olup,  $M$  ve  $N$  den bağımsızdır.



Şekil 3.3: İrisin belirli bölgelere ayrılması



Şekil 3.4: İris kodunun üretilmesi

8 açısal ve 1 yarıçapsal bölge seçilmesi durumunda örnek bir imge için elde edilen iris kodu aşağıda verilmektedir.

Tablo 3.1: Bir bit dönüşümü ile kod eldesi 1

<i>iris coord x = 94 y = 92 r = 20 (irisin dış çemberi)</i>				
<i>iris coord x = 94 y = 92 r = 8 (irisin iç çemberi)</i>				
Bölge No	Sıfır Sayısı	Bir Sayısı	Oran	Atanan Bit
1	1241.000000	954.000000	1.3008	1
2	1084.000000	983.000000	1.1027	1
3	1107.000000	1007.000000	1.0993	1
4	934.000000	1167.000000	0.8003	0
5	956.000000	1145.000000	0.8349	0
6	951.000000	1163.000000	0.8177	0
7	900.000000	1167.000000	0.7712	0
8	1048.000000	1053.000000	0.9953	0

Aynı kişinin farklı anda alınmış iris imgesi için elde edilen iris kodu:

Tablo 3.2: Bir bit dönüşümü ile kod eldesi 2

<i>iris coord x = 86 y = 80 r = 19</i>				
<i>iris coord x = 86 y = 80 r = 7</i>				
Bölge No	Sıfır Sayısı	Bir Sayısı	Oran	Atanan Bit
1	1033.000000	1014.000000	1.0187	1
2	969.000000	949.000000	1.0211	1
3	1096.000000	870.000000	1.2598	1
4	897.000000	1055.000000	0.8502	0
5	887.000000	1065.000000	0.8329	0
6	840.000000	1125.000000	0.7467	0
7	870.000000	1048.000000	0.8302	0
8	927.000000	1025.000000	0.9044	0

Farklı bir iris için elde edilen iris kodu ise:

Tablo 3.3: Bir bit dönüşümü ile kod eldesi 3

<i>iris coord x = 93 y = 86 r = 19</i>				
<i>iris coord x = 92 y = 87 r = 9</i>				
Bölge No	Sıfır Sayısı	Bir Sayısı	Oran	Atanan Bit
1	852.000000	980.000000	0.8694	0
2	642.000000	1083.000000	0.5928	0
3	796.000000	969.000000	0.8215	0
4	913.000000	840.000000	1.0869	1
5	849.000000	904.000000	0.9392	0
6	779.000000	985.000000	0.7909	0
7	767.000000	958.000000	0.8006	0
8	862.000000	891.000000	0.9675	0

Sonuçlar incelendiğinde aynı kişiye ait iris imgesinden üretilen ilk iki kodun birbirine yakın olduğu, farklı kişiye ait üçüncü kodun çok farklılık gösterdiği görülmektedir. Tanıma işlemi bitset karşılaştırma ile yapmak için oran değerlerinin 1'den büyük olması durumunda kod değerinin 0, 1'den küçük olması durumunda 1 yapılması ile ikili kod elde edilebilmektedir. Yukarıdaki üç imge için bulunan oran değerleri ikili koda dönüştürüldüğünde sırasıyla 11100000, 11100000 ve 00010000 kodları elde edilmektedir. Mantıksal ÖZEL VEYA işlemi kullanılarak iris kodları

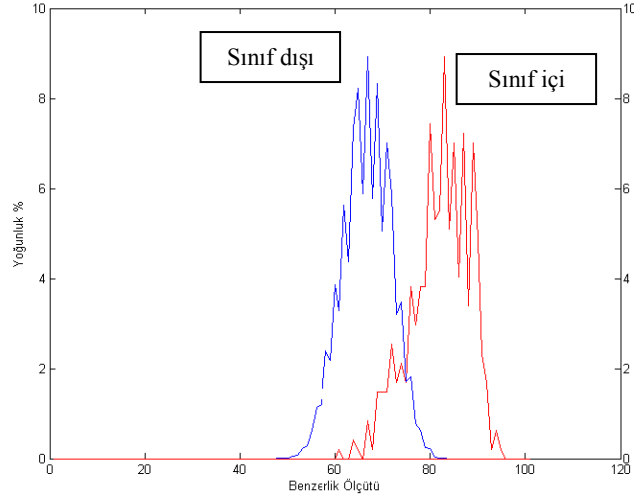
arasındaki benzerlik hızlı bir şekilde hesaplanabilmektedir. Kodlardan da görüldüğü üzere, aynı kişiye ait iris kodları aynı çıkmakta, farklı kişiye ait iris kodu diğer kodlardan oldukça farklılık göstermektedir. Aşağıda ARP (Açısal Radyal Parçalama) için 18 açısal ve 8 yarıçapsal bölge seçilmesi durumunda örnek imgeler için elde edilen ikili iris kodları Şekil 3.5’de verilmektedir.



Şekil 3.5: 18 açısal ve 8 yarıçapsal bölge seçilmesi durumunda örnek imgeler için elde edilen ikili iris kodları

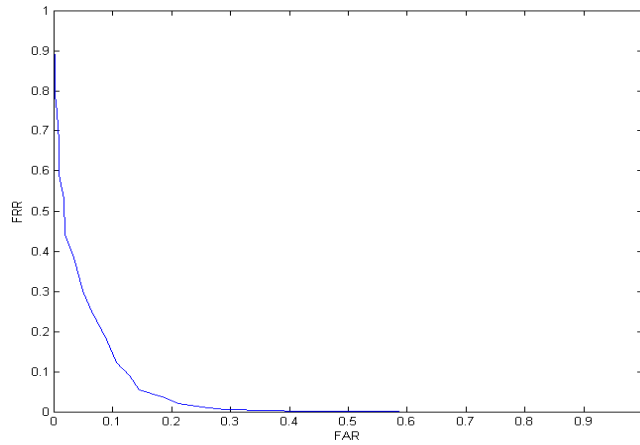
Şekil 3.5’deki iris kodları arasında mantıksal ÖZEL VEYA işlemi yapıldığında elde edilen 1’lerin toplamı  $\sum Kod1 \oplus Kod2 = 23$  ,  $\sum Kod1 \oplus Kod3 = 37$  ,  $\sum Kod2 \oplus Kod3 = 32$  elde edilmektedir. Bu değerlerin küçük çıkması, benzerliğin yüksek olduğu anlamına gelmektedir.

CASIA veri tabanından görüntüler alınarak, 50 kişilik bir veritabanı oluşturulmuştur. Bu veri tabanında her kişi için 5 adet iris görüntüsü saklanmıştır. M ve N değerleri sırasıyla 32, 4 olarak alınmıştır. Benzerlik ölçütü elde etmek için irislerden elde edilen özellik vektörlerinin Hamming uzaklıkları bulunmuştur. İki iris aynı ise Hamming uzaklığı 0 çıkmaktadır. Şekil 3.6’da gösterilen grafikte, Hamming uzaklığı 0 çıkmışsa benzerlik ölçütü 100 değeri ile, 1 çıkmışsa 0 ile gösterilmektedir. Herbir iris görüntüsü veri tabanındaki diğer görüntülerle karşılaştırılıp, Şekil 3.6’da gösterilen sınıf içi – sınıf dışı grafikleri elde edilmiştir.



Şekil 3.6: 1-bit dönüşümü kullanılarak elde edilen sınıf içi-sınıf dışı benzerlik ölçütü

Bu grafik kullanarak sınıf içi ve sınıf dışı ayrımı için benzerlik ölçütünde bir eşik değeri seçilir. Bu değere bağlı olarak sınıf içi ve sınıf dışı hata oranları değişecektir. Burada iki türlü hatadan söz edilebilir. FAR (False Acceptance Rate), iki farklı kişinin karşılaştırması sonucunda aynı kişi olarak bulunma oranıdır. FRR (False Rejection Rate) ise aynı kişinin karşılaştırması sonucunda farklı kişi olarak bulunmasıdır. Bu iki oran kullanılarak biyometrik tanımda çok fazla kullanılan FAR-FRR grafiği elde edilmektedir. FAR ve FRR uygun olarak seçilerek benzerlik ölçütü için eşik seçilmektedir. Şekil 3.7'de 1 bit dönüşümü tanıma işleminde elde edilmiş FAR-FRR grafiği verilmiştir.

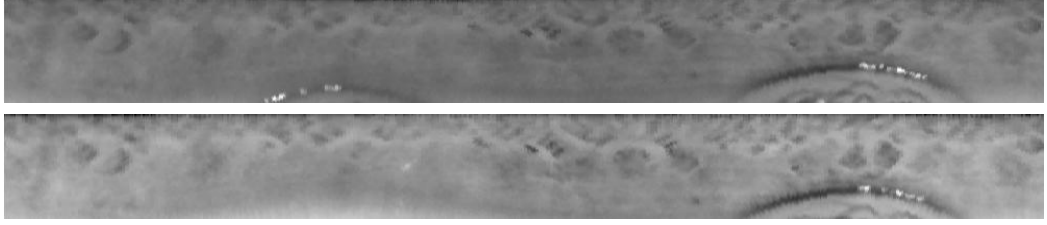


Şekil 3.7: 1 bit dönüşümü kullanılarak yapılan tanımda FAR-FRR grafiği

Grafik üzerinde gezilerek, FAR, FRR hata oranlarının değişimi gözlenebilir. Eşit FAR ve FRR hata oranında herbirinin hata oranı, EER (Equal Error Rate), 0.1 (%10) olduğu grafikte gözlemlenmektedir.

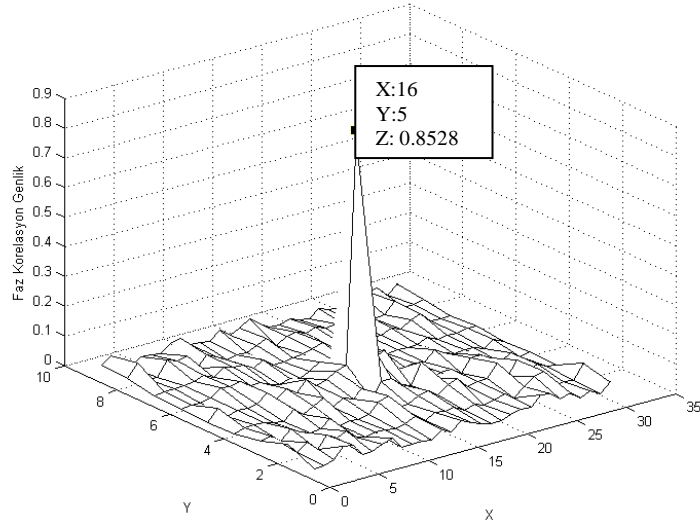
### 3.3.2. Faz korelasyonu

Tez kapsamında eşleştirme işlemi için faz korelasyonu kullanılmıştır. [33]'de belirtildiği gibi yüksek frekans bileşenleri atılarak faz korelasyonu işlemi yapılmıştır. Şekil 3.8'da aynı kişiye ait iki ayrı normalize edilmiş iris imgesi verilmektedir.



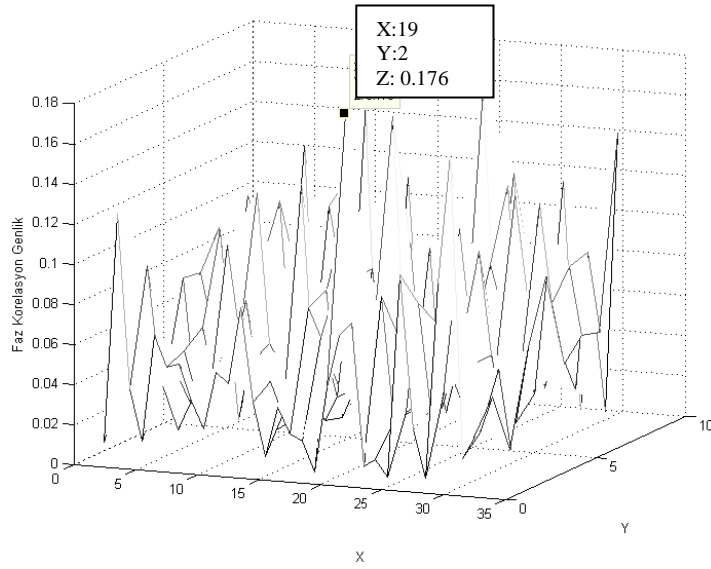
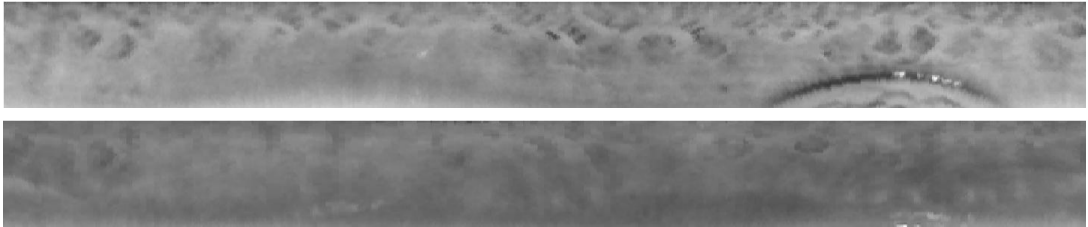
Şekil 3.8: Aynı kişiye ait iki farklı normalize iris imgesi

İki imgenin faz korelasyonu sonucunda imge boyutlarında (2 boyutlu) faz korelasyonu genliğini gösterir bir imge oluşmaktadır. Şekil 3-9'de verilen iki normalize iris imgesine ait faz korelasyonu sonucunda en büyük genlik değerinin 0.85 civarında olduğu görölmektedir. Yüksek frekansları atabilmek için parametre tanımlanmıştır. Bu parametre 0 ile 1 arasında değer alabilmektedir. Eğer 1 değeri kullanılırsa hiçbir frekans bileşeni atılmamaktadır, işlem normal faz korelasyonu işlemine dönmetedir. Belirlenen parametre 0 yapıldığında sadece DC değer kalmaktadır. Tez kapsamında seğilen parametre 0.25 olmuştur. Aynı kişiye ait iki farklı iris görüntüsünün faz korelasyon sonucu Şekil 3.9'da verilmiştir.



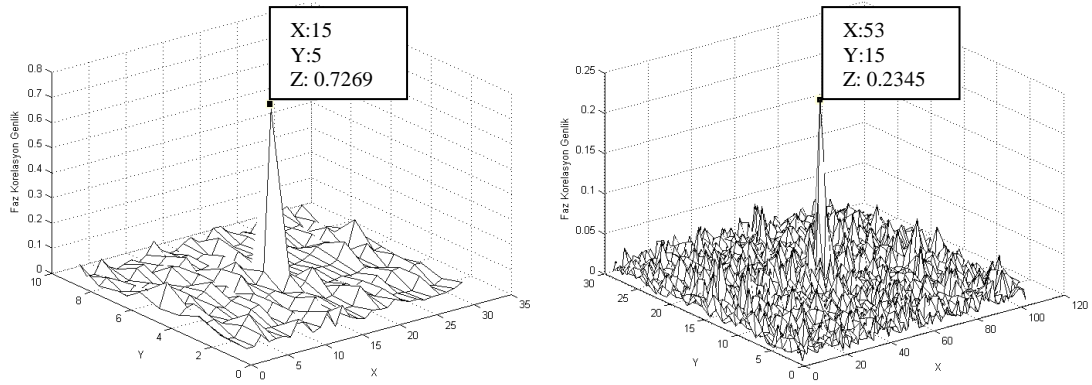
Şekil 3.9: Aynı kişiye ait normalize iris görüntüsünün faz korelasyonu sonucu

Şekil 3.10'da farklı iki kişiye ait normalize iris imgeleri ve faz korelasyonu sonucu verilmektedir. Faz korelasyonu sonucu incelendiğinde en büyük tepe değerinin çok düştüğü görülmektedir.

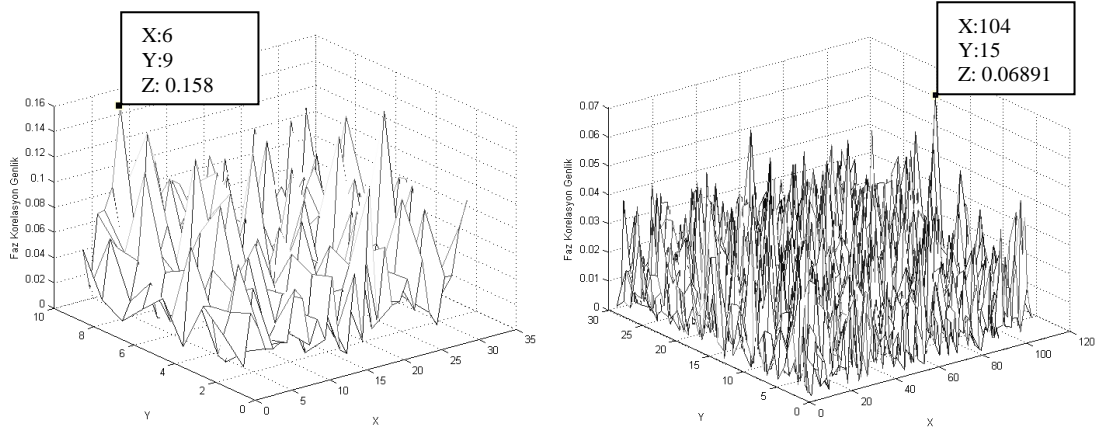


Şekil 3.10: Farklı iki kişiye ait normalize iris imgeleri ve faz korelasyonu sonucu

Faz korelasyonu ile ayırt ediciliği arttırmak amacıyla [33]'da önerildiği gibi frekans spektrumunda yüksek frekans bileşenleri bastırılmakta ve daha sonra faz korelasyonu işlemi yapılmaktadır. Bu işlem uygulandıktan sonra aynı kişiye ait iki iris imgesi için faz korelasyonu genliklerinin değişimi Şekil 3-11'de görülmektedir. Görüldüğü üzere benzerlik oldukça artmaktadır. Bu işlemin farklı kişilere ait iris imgelerinin faz korelasyonu sonucuna etkisinin çok küçük olduğu Şekil 3-12'de görülmektedir.



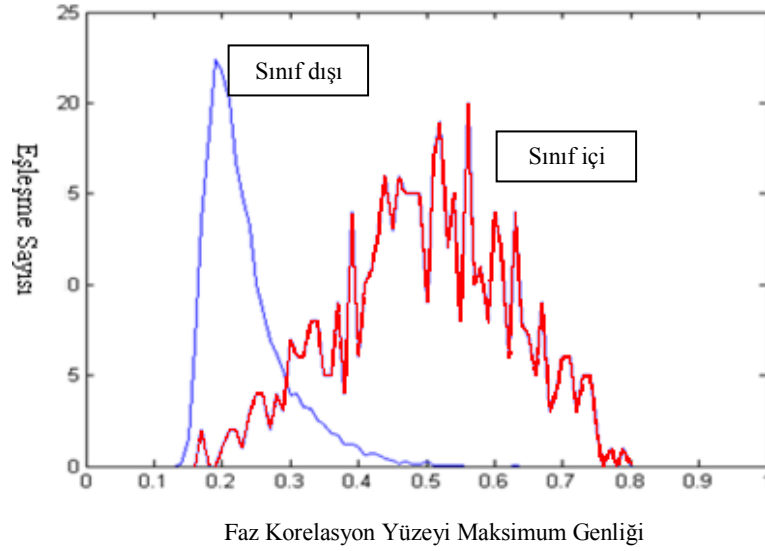
Şekil 3.11: Yüksek frekans bileşenleri atıldıktan sonra (sol) ve atılmadan önce (sağ), aynı kişiye ait iki iris imgesi için faz korelasyonu genliklerinin değişimi



Şekil 3.12: Yüksek frekans bileşenleri atıldıktan sonra (sol) ve atılmadan önce (sağ), farklı kişilere ait iki iris imgesi için faz korelasyonu genliklerinin değişimi

Bu yöntem, tasarlanan sistem ile alınan görüntüler üzerinde denenmiş olup başarımlar değerlendirilmesi için sınıf içi sınıf dışı benzerlik grafiği çıkartılmıştır. Bu grafik Şekil 3.13'de verilmiştir. Bu grafiğin oluşturulurken standartlaştırılmış iris imgesinin tamamı kullanılmıştır. Ayırım noktasındaki hatanın fazla olmasının nedeni sistem ile

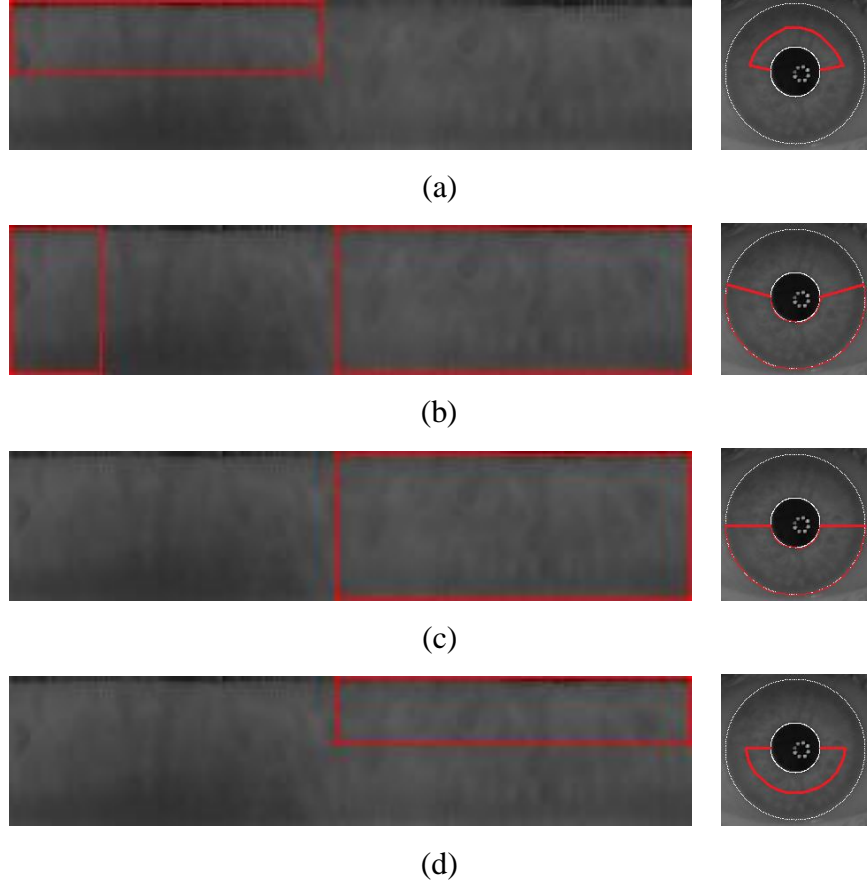
çekilen görüntülerde, görüntü çekilirken kullanıcın kafa hareketi nedeniyle görüntülerin bulanık çıkmasından veya gözkapağının fazla kapalı olmasından kaynaklanmaktadır. Bu ayırımı güçlendirmek için bir sonraki başlıkta anlatılacak bir yöntem eklenmiştir.



Şekil 3.13: Sınıf içi ve sınıf dışı benzerlik ölçütü

### 3.4. Uyumlama Stratejisi

Göz kapağının iris bölgesine girmesi, görüntünün bulanık olması gibi durumlar nedeniyle oluşan sınıflar arası ve sınıf içi girişimin azaltılabilmesi için karşılaştırma işlemi dört ayrı bölgede yapılmaktadır. Bu bölgeler Şekil 3.14'de işaretli olarak gösterilmektedir.

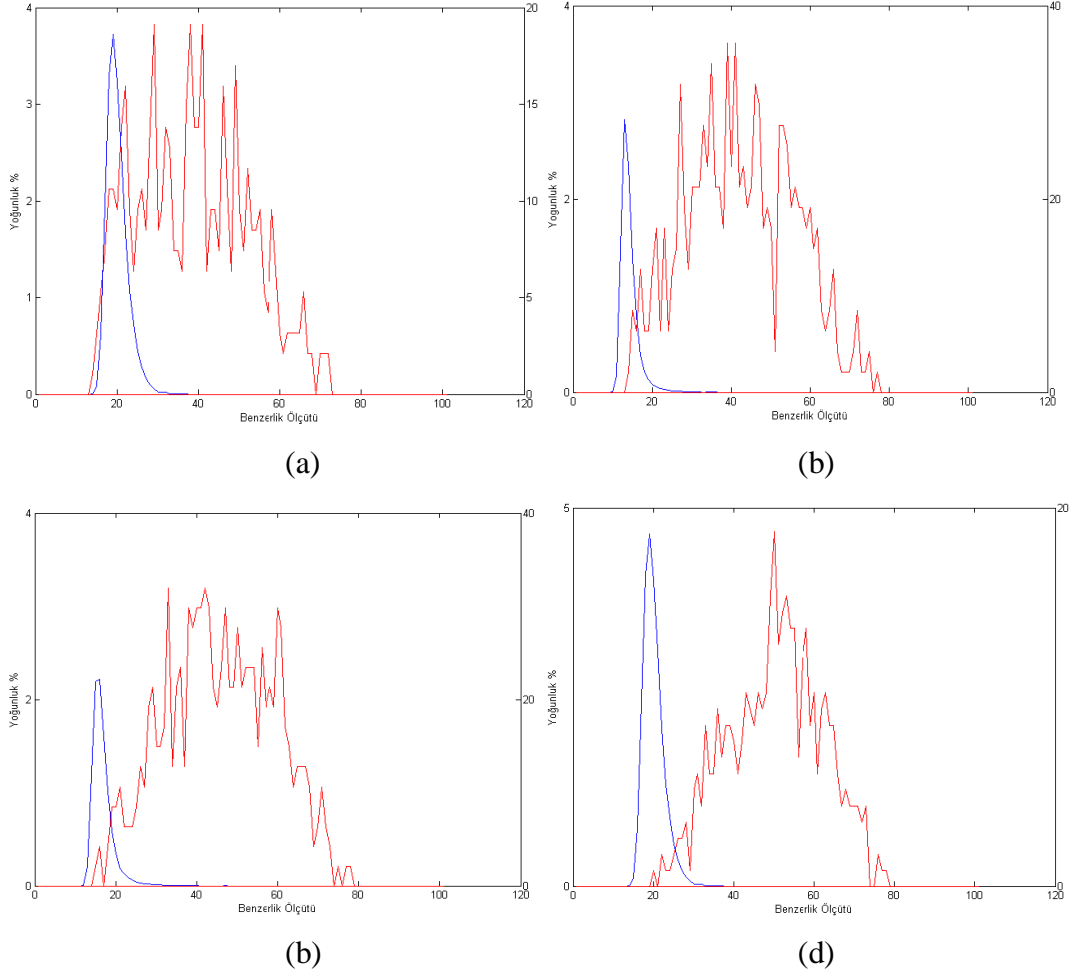


Şekil 3.14: Normalize edilmiş iris imgesinde tanıma için kullanılan dört ayrı bölge

Şekil 3.14-a'daki işaretli bölge irisin üst kısmından gözbebeğine yakın bir kesimi almaktadır. Bu eşleştirme sayesinde eğer üst gözkapığı büyük ölçüde kapalı değilse önemli bilgi çıkmaktadır. Not: Genellikle üst gözkapığı daha çok kapalı çıkmaktadır. Şekil 3.14-b ve Şekil 3.14-c'deki bölgeler ise birbirine yakındır ve irisin alt kısmının tüm bilgisini kullanmaktadır. Gözün büyük ölçüde kapalı olduğu durumda ise (üst ve alt göz kapakları iris içerisine giriyor ise) Şekil 3.14-d'deki bölge önemli bilgi içermekte ve tanımaya büyük katkı sağlamaktadır.

Bu dört bölgenin kendi içinde sınıf içi sınıf dışı grafikleri çıkartılmıştır. Şekil 3.15'de belirlenen bu dört bölge için sınıf içi ve sınıf dışı benzerlik ölçütü grafikleri grafikleri verilmiştir. Bu grafiklerin çıkartımında CASIA veritabanı kullanılmıştır. Şekil 3.14'de gösterilen bölgelerin sınıf içi sınıf dışı benzerlik ölçütleri sırasıyla şekil 3.15'de verilmiştir. Kırmızı ile çizilen grafik sınıf içi, mavi ile çizilen grafik sınıf dışı

yoğunlukları belirtmektedir. Grafiklerdeki sol taraftaki yoğunluk ölçeklendirmesi sınıf içi grafiğine aittir. Sağ taraftaki ölçeklendirme sınıf dışı grafiğine aittir.



Şekil 3.15: 4 farklı bölge için sınıf içi – sınıf dışı benzerlik ölçütü

Veritabanında her bir kişi için beş adet normalize iris görüntüsü tutulmaktadır. Yukarıda gösterilen 4 bölge ayrı ayrı tüm veritabanında bant sınırlı faz korelasyonuna sokulmaktadır ve bu işlem sonucunda bir benzerlik skoru elde edilmektedir. Bu skor faz korelasyon sonucunun maksimum noktasındaki değeri olmaktadır. Bu benzerlik skoru  $[0,1]$  arasında bir değerdir. Eğer karşılaştırma sonucunda 1 değeri elde ediliyor ise iki imge birbirinin aynısıdır. Benzerlik azaldıkça bu skor sıfıra yaklaşmaktadır. Veritabanında kayıtlı her bir imge için Şekil 3.14'deki dört bölge kullanılarak benzerlik aranmakta ve her bir bölge için en yüksek benzerlik skorunu veren ve belirlenen bir eşik değerinden yüksek olan 5'er kişinin bilgisi

tutulmaktadır. Sonuçta 4 farklı karşılaştırma, her karşılaştırma için 5 sonuç olmak üzere belirlenen bir eşiği geçen en fazla 20 adet kişi/karşılaştırma bilgisi elde edilmektedir. Bu durumda beklenen, aranan kişinin aday bulunan kişiler içinde çok kez tekrar etmesidir. Bulunan tekrar sayısı belli bir eşiğin üzerinde ise aranan kişi en büyük tekrar sayısını veren kişi olarak belirlenmektedir.

Alınan bir görüntü, Kocaeli Üniversitesi İşaret ve Görüntü İşleme Laboratuvarı bünyesinde oluşturulan elli kişilik bir veritabanı üzerinde arandığında, 4 farklı karşılaştırma için en yüksek skoru veren 5'er kişi ID numarası Şekil 3.16'da görülmektedir.

```
0.467422 1 - 0.478386 1 - 0.508208 - 1 - [0.491335 - 1]
0.446807 1 - 0.469882 1 - 0.504042 - 17 - [0.453314 - 1]
0.445317 1 - 0.468149 1 - 0.499313 - 1 - [0.431557 - 1]
0.377728 1 - 0.443945 1 - 0.495392 - 1 - [0.402314 - 20]
0.276307 1 - 0.344707 1 - 0.428423 - 1 - [0.364150 - 3]

14 kez 1. kişi
1 kez 17. kişi
1. Ahmet TERVILDIZ

17 kez 1. kişi
1 kez 3. kişi
1 kez 17. kişi
1 kez 20. kişi
1. Ahmet TERVILDIZ
```

Şekil 3.16: Örnek bir giriş için 4 farklı karşılaştırma içinde en yüksek skoru veren 5'er kişi ID numarası

Şekil 3.16'daki sütunlar irisin 4 farklı bölgesi için elde edilmiş 5 ayrı skoru ve ID numarasını tutmaktadır. Örnek olarak 1. bölge karşılaştırma sonuçlarında en yüksek değeri 0.467422 değeri ile 1. kişiye ait çıkmıştır. 0.2 eşik değerinin üstündeki yalnızca ilk 3 bölgenin karşılaştırılması sonuçlarına bakıldığında 14 kez 1. kişiye, 1 kez de 17. kişiye benzerlik bulunmuştur. Sonuçta 1. kişinin baskın olarak aranan iris imgesi olduğu görülmektedir. 4 bölgenin de değerlendirmeye alınması durumunda 17 kez 1. Kişi, 1 kez 17. kişi, 1 kez 3. kişi, 1 kez 20. kişiye benzetilmiştir. Yine baskın olarak 1. kişi çıkmaktadır fakat 4. bölgenin üst göz kapağının irise çok fazla girmesi durumunda sonuçları olumsuz etkileme durumunun oluşabilmesi ve hesapsal yükün azaltılması açısından bu bölgenin değerlendirmeye katılmaması değerlendirilmektedir. Aranan iris imgesinin veritabanında bulunamaması durumunda skor olarak değerlendirmeye alınan kişilerdeki çeşitlilik çok fazla artmaktadır. Sisteme veritabanında kayıtlı olmayan bir kişi tarafından yapılan bir giriş sonrasında oluşan dağılım Şekil 3.17'de verilmektedir.

```
1 kez 1. kişi  
1 kez 4. kişi  
1 kez 5. kişi  
1 kez 6. kişi  
1 kez 8. kişi  
1 kez 9. kişi  
1 kez 10. kişi  
1 kez 15. kişi  
1 kez 16. kişi  
1 kez 20. kişi  
1 kez 21. kişi  
2 kez 26. kişi  
1 kez 27. kişi  
1 kez 49. kişi
```

Şekil 3.17: Veritabanında kayıtlı olmayan bir kişi tarafından yapılan bir giriş sonrasında oluşan kişi dağılımı

Tasarlanan sistem ile oluşturulmuş veri tabanı üzerinde yapılan testlerde, 200 deneme sonucunda başarı oranının %96 olduğu gözlemlenmiştir.

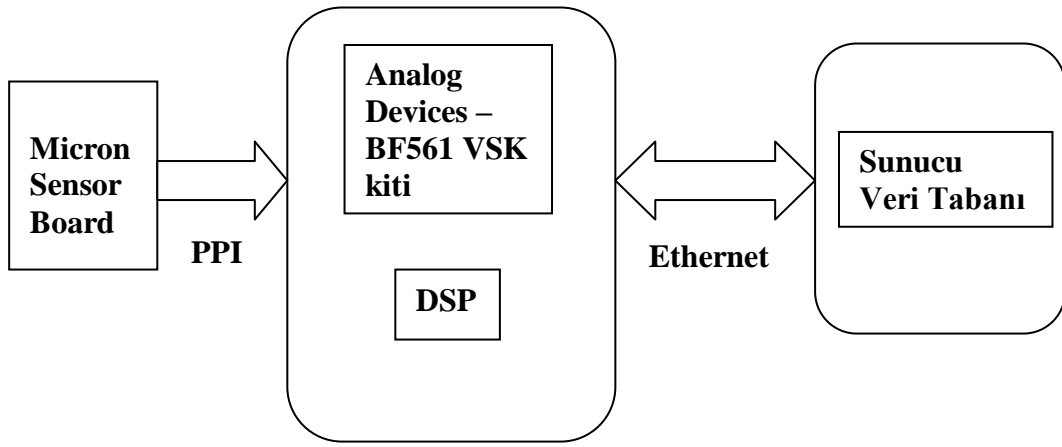
MATLAB® ortamında, CASIA veri tabanı ile de başarımlı değerlendirilmiştir. 20 kişinin olduğu bir veri tabanı oluşturulup herbir kişi için veri tabanında 4 adet iris görüntüsü ele alınmıştır. Oluşturulan bu veri tabanı içinde tanıma işlemi gerçekleştirilmiştir. 80 adet iris görüntüsü tasarlanan algoritma ile veri tabanında aranmıştır. Değerlendirme kriteri olarak şekil 3.12'de belirtilen b, c, d bölgeleri alınmıştır. Her bir iris görüntüsü tüm veri tabanı ile karşılaştırılıp, bu üç bölge için bölüm "3.3.2 Faz korelasyonu" kısmında bahsedilen yöntem kullanılarak en yüksek skoru veren 5 kişi bulunmuştur. Veri tabanı taraması bittiğinde 3 bölge için en yüksek skoru veren 5 kişi içinden, ilk 3'e girenler arasından en çok kimin yinelenmiş bulunduğu bulunmaktadır. En çok yinelenen kişi aradığımız kişi olarak tespit edilmektedir.

Yapılan deneme sonucunda tanıma başarımlı %100 çıkmıştır.

## 4. İRİS KAMERA DONANIMI

### 4.1. Tasarlanan İris Kamera Sistemi

Tasarlanan sistemin blok diagramı şekil 4.1 de gösterilmektedir.



Şekil 4.1: İris kamera sistemi

Tez kapsamında Analog Devices'ın BF561 DSP'sini kullanan VSK2 (Video Surveillance Kit) kiti kullanılmıştır. Bu geliştirme kartı şekil 4.2 de gösterilmiştir. Geliştirme kartı üzerine farklı sensör kartları takılabilmektedir. Projede Micron firmasının 2 mega-piksellik MT9d131L sensör kartı kullanılmıştır.



Şekil 4.2: Analog devices digital video surveillance geliştirme kartı

Kitin genel özelliklerini şu şekilde sıralayabiliriz.

- CMOS görüntü sensörü
- Düşük maliyet, yüksek performans görüntü teknolojisi
- Geniş-VGA veya 2 Megapiksel çözünürlük
- Geniş-VGA (752 x 480) özellikleri:
- Küresel perde
- 100 dB yüksek dinamik çalışma aralığı
- Progressive veya interlaced okuma
- 2 Megapiksel (1600 x 1200) özellikleri:
- Gömülü işlemci, İmge Akış işlemcisi, ve JPEG kodlayıcısı
- Düşük güç tüketimi
- Analog Devices Blackfin® ADSP-BF561 tabanlı işlemci
- Çift simetrik 500 MHz yüksek performans Blackfin çekirdekleri
- Çift PPI port desteği. ITU-R BT656 video veya Genel Amaçlı kullanım modu
- 64 MB PC133 SDRAM
- USB den ya da dışardan beslenebilme özelliği
- 10/100 Ethernet
- Sistemin stabil durabilmesi için tasarlanmış tripod
- VisualDSP++® JTAG debugger desteği

İşlemci için kod yazılması Visual DSP ++ IDE sinde yapılıp emulator aracılığı ile işlemciye gönderilip gerçek zamanlı hata ayıklama işlemi yapılabilmektedir. Kullanılan emülatör ANALOG DEVICES geliştirme araçlarından Şekil 4.3'de görülen ADZS-USB-ICE emülatörüdür.



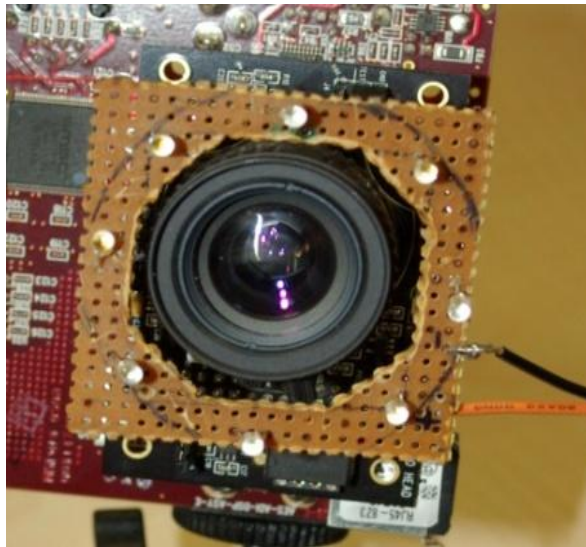
Şekil 4.3: Adzs-usb-ice emülatörü

#### 4.1.1. Tasarlanan aydınlatma sistem

Geliştirilen iris kamera kızılötesi (IR) bandında çalıştığından görünür bölge dalgaboylarındaki ışık bileşenlerinin bastırılması ve yalnızca IR bileşenlerinin kamera tarafından alınması gerekmektedir. Bunun için ayrıca IR aydınlatma kaynağına ihtiyaç duyulmaktadır. Geliştirilen IR iris kamera sisteminde, IR bandını geçirip görünür bölgeyi bastırarak şekilde optik bir IR geçiren filtre kullanılmaktadır. Mevcut filtrenin geçirme bandı 780-2500nm dalgaboylarında olacak şekilde geniş bir aralıktadır. Filtrenin IR bandındaki ışık geçirme kapasitesi beklenenden düşüktür. Yani, tam olarak projedeki istenen amaca yönelik özel bir filtre değildir. Bu filtrenin kullanılması durumunda alınan görüntüler çok karanlık olduğundan pozlama süresinin artırılması ile ya da kullanılan IR aydınlatmanın gücünün artırılması ile istenilen ışıklılık seviyeleri yakalanabilmektedir (istenilen aydınlıkta görüntü alınabilmektedir). Pozlama süresinin artırılması durumunda ise başın hareketli olduğu durumda görüntüde bulanıklıklar oluşmakta ve iris tanıma için uygun görüntü alınamamaktadır. Bu problemi giderebilmek için diğer seçenek aydınlatma gücünün artırılmasıdır. Şu an sistemde kullanılan IR aydınlatmada 8 adet IR LED bulunmakta ve toplam çekilen güç 14mW'tır. LED aydınlatmaların göz sağlığına etkisine yönelik çalışmaları sonucunda görmüş belli başlı standartlar mevcuttur (ACGIH, ICNIRP, IEC, ANSI, CENELEC) [34-36]. Bunun için maksimum izin verilebilir pozlandırma (Maximum Permissible Exposure-MPE) ölçütü kullanılmaktadır ve bu ölçüt

kaynağın elektromanyetik saçılımı hakkında bilgi vermektedir [35]. MPE değeri, 100 saniyelik pozlandırmada LED aydınlatmaya bakış uzaklığı, LED bakış yarıçapı gibi parametrelere bağlı olarak hesaplanmaktadır. LED saçılımının ölçümünün yapılabilmesi için radyometre gerekmektedir [36]. Bu ölçüm sistemi elimizde olmadığından bu aşamada LED'lerin güvenilir bir güç aralığında çalıştırılması yoluna gidilmiştir. Belirlenen pozlama ve aydınlatma koşullarında sistem ile alınan görüntülerde durağan koşullarda problem olmamakla birlikte, baş hareketi durumunda görüntü bulanık alınmaktadır. Kullanılan LED aydınlatmanın güç ölçümünün yapılması sağlandığı takdirde en uygun aydınlatma şiddeti belirlenebilecek ve bu sayede kafa hareketi durumunda oluşan bulanıklık sorununun üstesinden gelinebilecektir.

Sistem için bir kızılötesi aydınlatma kullanılmıştır. Kullanılan aydınlatma sistemi, kamera lensi çevresine dairesel bir yapıda kızılötesi ledleri yerleştirilerek sistem çok kısa sürede oluşturulabilmektedir. Bu şekildeki bir sistemden çekilen iris imgesi kızılötesi bandında olduğu için görünür bölge parlamalarından arındırılmıştır ve kızılötesi ışık kaynaklarının lensin çevresine yerleştirilmesinden dolayı ledlerin parlamaları sadece gözbebeği üzerine düşürülmüş olacaktır. Şekil 4.4'de tasarımlanan aydınlatma sistemi görülmektedir.



Şekil 4.4: Tasarımlanan aydınlatma sistemi

Projeyi gerçekleyebilmek için bazı donanım ve yazılım ihtiyacı vardır. Projeye uygun olabilmesi için kolaylıkla taşınabilecek bir işlemci kartının olması uygun olacaktır. Bu durum doğrultusunda proje için kullanılabilir Analog Devices'ın BF561 DSP'sini kullanan VSK2 (Video Surveillance Kit) geliştirme kartı seçilmiştir. Bu kit için yazılacak yazılım ise Visual DSP++ IDE'sinde gerçekleştirilmektedir.

#### **4.1.2. Görüntü alma**

Görüntü alma işlemi DSP tarafından kontrol edilmektedir. Görüntü alabilmek için sunucu tarafından bir istek yapılması gerekmektedir. Bunun için sunucu üzerinde çalışan programda bir buton eklenmiştir. Butona basıldığında yeni bir görüntü kameradan alınmaktadır. Kameradan ile DSP (Digital Signal Processor), PPI (Parallel Peripheral Interface) arayüzü ile yapılmıştır. PPI arayüzü ile gelen kamera verileri DMA (Direct Memory Access) kullanılarak kodda belirlenen bir adresten itibaren gelen görüntüyü kaydetmektedir. Kamera YcbCr formatında görüntü vermektedir. Sadece Y kanalını kullanacağımız için renk bilgisini tutan Cb, Cr kanallarından gelen veri atılmaktadır.

#### **4.1.3. DSP tarafından yapılan işlemler**

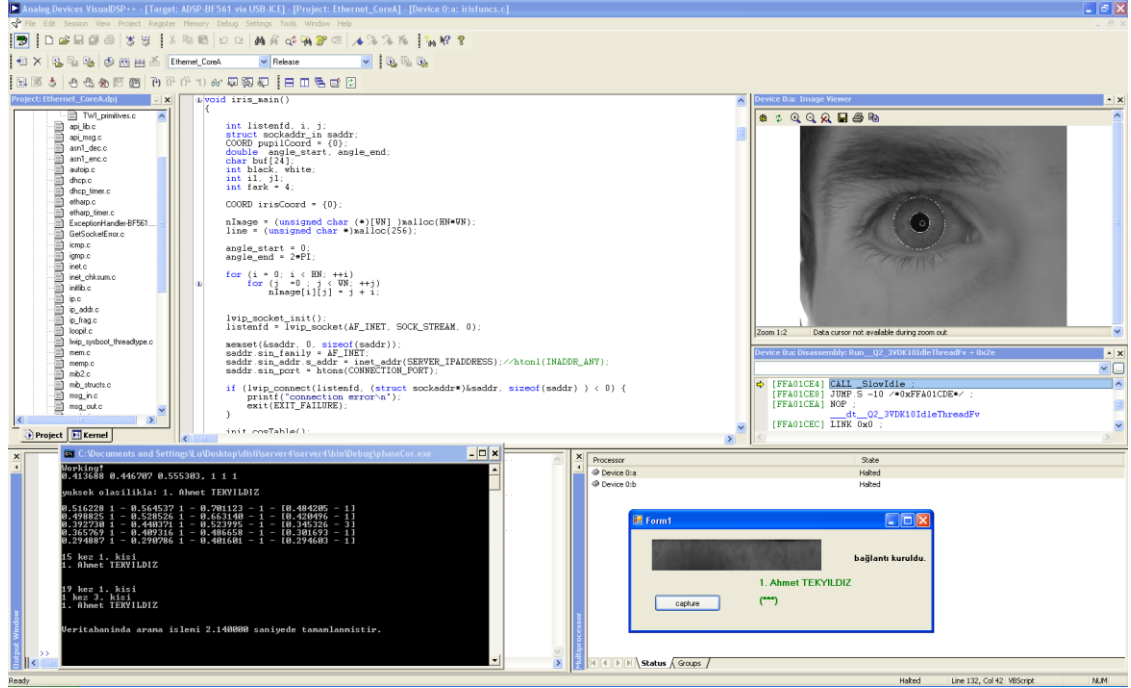
Görüntü alımından sonra, elde edilen görüntü üzerinde “2.2.3. İris Tespiti” bölümünde anlatılan algoritma kullanılarak iris bölgesi bulunmaktadır. İrisi Bölgesi bulunduğundan sonra Daugman'ın Rubber Sheet yöntemi kullanılarak normalizasyon işlemi yapılmaktadır. Normalizasyon işlemi sonucu elde edilen imge Ethernet veri yolu ile sunucuya gönderilmekte ve eşleştirme sonucu beklenmektedir.

#### **4.2. DSP-Sunucu Haberleşmesi**

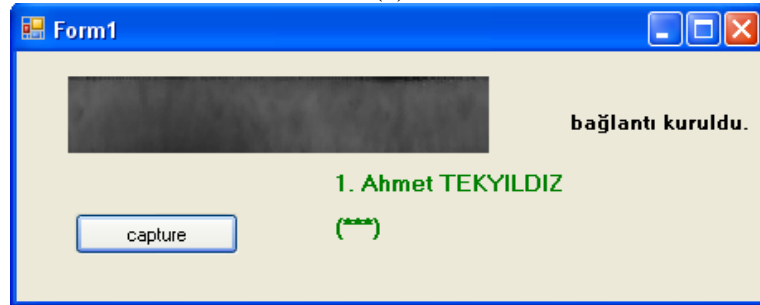
DSP ile sunucu haberleşmesi TCP/IP protokolü üzerinden yapılmaktadır. Sunucuya statik bir IP verilmiştir. DSP bir istemci gibi çalışarak ilk çalışma durumunda öncelikle sunucuya bağlanmaktadır. DSP tarafında TCP/IP yığını olarak lwIP yığını kullanılmıştır. Bu yığın sayesinde, bu yığının sağladığı gönder-al şeklinde fonksiyonlarla veri iletimi sağlanmış olur.

### 4.3. Sunucu Tarafında Yapılan İşlemler

Sunucu kısmında yazılan iris tanıma yazılımının arayüzü ve VisualDSP++tarafındaki VSK için yazılım geliştirme ortamı Şekil 4.5’de verilmektedir.



(a)



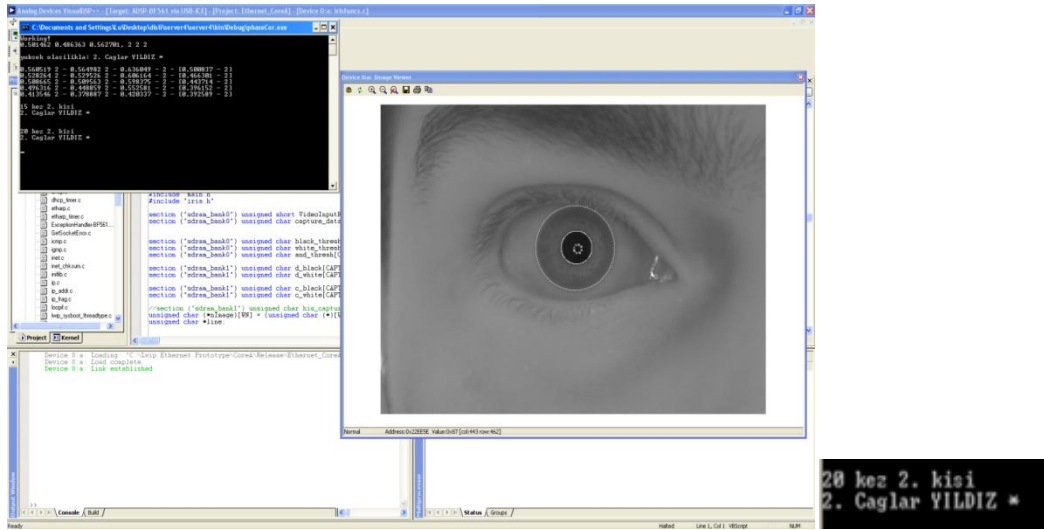
(b)

Şekil 4.5: a) VisualDSP++ tarafındaki DVSK için yazılım geliştirme ortamı, b) sunucu kısmı arayüzü

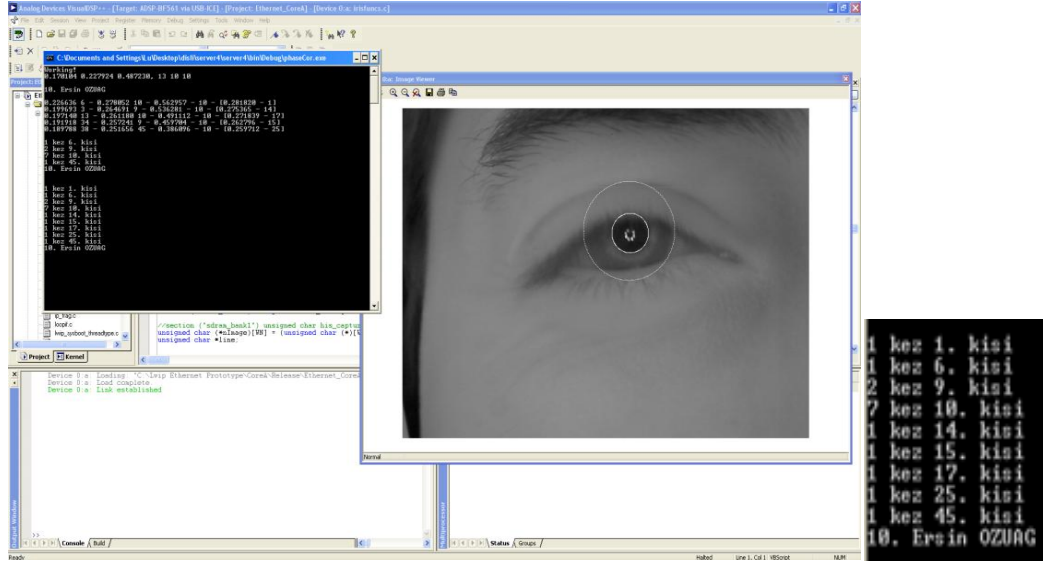
Sunucu kısmında faz korelasyonu hesabının yapılabilmesi için Fourier dönüşümünün (Fourier Transform) gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla proje kapsamında FFT için FFTW (Fastest Fourier Transform in the West) kütüphanesi kullanılmıştır [37]. 50 kişi, her bir kişi için 5 ayrı iris imgesi ve 4 ayrı bölge için toplamda 1000 ayrı faz korelasyonu işlemi yapılmakta ve sunucu kısmındaki bu işlem yaklaşık 2.15 saniye

civarında sürmektedir. Şu an görsel olarak arama ve düzenlemenin yapılabilmesi açısından iris imgeleri BMP formatında kaydedilmektedir ve karşılaştırma sırasında her bir iris imgesi sabit diskten okunup karşılaştırma yapılmaktadır. Sistemin nihai hale gelmesi aşamasında iris imgelerinin FFT çıktıları dosyaya yazılabilecek, böylece FFT alma işlemi yalnızca giriş imgesi için yapılacaktır. Bu sayede sistem çok daha hızlı arama yapar hale gelecektir. Bunun yanında FFT çıktıları, sunucunun ilk açılışı sırasında sabit diskten okunup RAM'e yazılması ile sabit diskin yavaşlığı ortadan kaldırılmış olacak ve arama hızı çok daha artacaktır. Ayrıca, skor hesabı yapılan bölge sayısının dörtten, bir ya da ikiye düşürülmesi durumunda da bu hız iki kat artabilecektir. Yukarıda bahsedilen bu işlemler kısa süre içerisinde uygulamaya geçirilebilecek nitelikte olup, imgelerin sabit diskte BMP formatında tutulması hata ayıklama ve iyileştirme aşamalarında önem teşkil ettiğinden çalışmalar bu veri yapısı ile sürdürülmüştür.

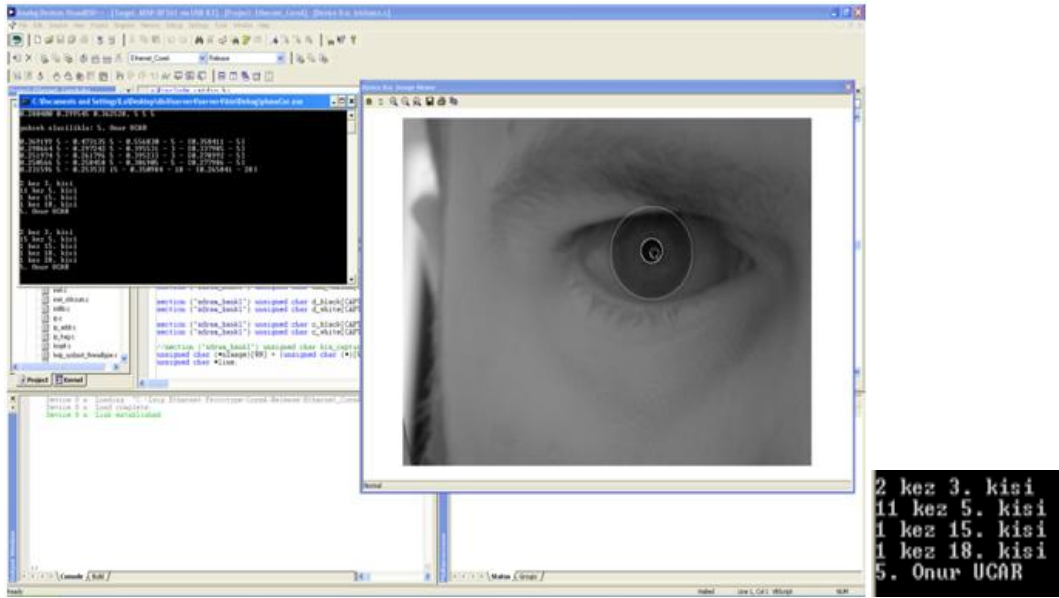
Sistem ile alınmış örnek sonuçlar şekil 4.6, şekil 4.7, şekil 4.8 ve şekil 4.9 'da gösterilmektedir. Şekil 4.7'de bulanıklık olmasına rağmen sistem doğru kişiyi bulmuştur.



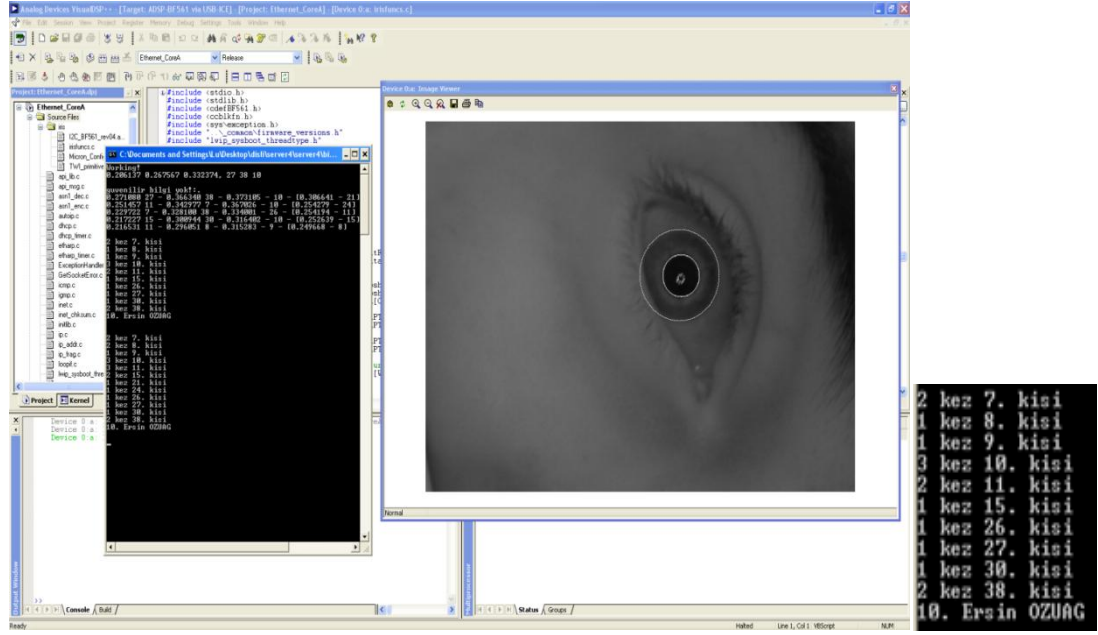
Şekil 4.6: Örnek sonuç - 1



Şekil 4.7: Örnek sonuç – 2



Şekil 4.8: Örnek sonuç - 3



Şekil 4.9: Örnek sonuç - 4

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında, biyometrik sistemlerden iris tanıma üzerinde durulmuş olup, iristen kimlik tespiti yapan gömülü bir biyometrik tanıma sisteminin tasarımı gerçekleştirilmiştir. Sistem başarımı sistem ile elde edilen görüntüler ve CASIA veri tabanı ile denemiştir.

Tez çalışmasında öncelikle kameradan alınan görüntüde yüz bölgesinin tespitine yönelik çalışmalar yapılmış ve şablon arama temelli bir yöntem kullanılmıştır. Yöntemşn yüz bulma başarımı alınan görüntülerde denenmiş ve %90 doğrulukla yüz bölgeleri bulunmuştur. Kullanıcıların bu işlem sırasında kameraya karşı yüzünün dönük olması ve arka planda karmaşık görüntülerin olmaması işlem başarımını ve performansını artırmıştır. İris tanıma sisteminde ilk etapta otomatik yakınlaştırma ve netleme özelliği olan bir lens kullanılmıştır. Bu lens kullanılarak alınan görüntülerde bulunan yüz bölgesine lensi yakınlaştırma ve netlemenin başarımının çok düşük olmasından dolayı, sistemdeki yüz bulma kısmının kullanımından vazgeçilmiş ve sabit odaklı bir lens kullanılarak alınan görüntülerde doğrudan iris bölgesinin tespiti yoluna gidilmiştir. Tasarlanan sistem doğrudan göz resmi elde etmektedir ve doğrudan iris tespiti işlemi yapılmaktadır.

Sistemde göz görüntüsü alırken kullanıcının kafasının belirli bir uzaklıkta olması gerekmektedir. Bunu sağlamak amacıyla kameradan belirli uzaklıkta kullanıcının kafasını koyup sabit durabileceği bir yapı tasarlanmıştır. Bu sayede göz resmi çekilirken kullanıcının kafa hareketinden ötürü meydana gelecek bulanıklık en aza indirilmiştir.

Tezde kullanılan iris bölgesinin bulunması yöntemi çok az işlemsel yükü olan bir yöntemdir. Çok hızlı bir şekilde iris merkezi yaklaşık olarak bulunabilmektedir. Bu yöntemin eksi tarafı sadece aydınlatmanın gözbebeği içine düştüğü sistemlerde düzgün sonuç vermektedir. İrisin iç yarıçapının bulunması teze özgün bir yöntemdir.

1 bit dönüşümü ile özellik çıkartımı yapıldığında elde edilen oran değerleri birbirine yakın olduğundan bitset hata olma olasılığı yüksek olmaktadır. t anında çekilen bir görüntüdeki bir bölgede oran 0.99 olduğunda bu bölge 0 ile temsil edilecek, t + 1 anında tekrar görüntü alındığında çeşitli dış etmenler nedeniyle bu oran normal olarak 1.00 da çıkabilir. Bu durumda da bu bölge 1 olarak değerlendirilecek. Oran değerleri genel olarak bu bölgede toplandığı için bitset hata oranı yüksektir. Görüntü alınırken kullanıcın kafasını küçük bir açıyla çevirmesi de bu bölgelere düşen siyah beyaz oranını tamamen olumsuz yönde etkileyecektir. Bu olumsuzluklardan ötürü bu yöntem kullanılmayacaktır.

Yüksek frekansların atılarak faz korelasyonu yapıldığında CASIA veri tabanında başarılı sonuçlar elde edilmiştir. İris sınırları doğru bulunduğu karşılaştırma başarımı %100 olmuştur. Ancak tasarlanan sistem ile alınan görüntüler, kızılötesi filtrenin optimum olmaması, göz resmini çekerken kullanıcın kafasını hareket ettirmesi gibi nedenlerden alınan görüntüler bulanık çıkmasına neden olmaktadır. Bu da başarımı kötü yönde etkilemektedir.

Yapılan yüzlerce deneme sonucunda tasarlanan sistemin başarımı %96 civarında olduğu gözlemlenmiştir. %4 lik hata ise kullanıcının göz resmi çekilirken kafasını oynatması sonucu oluşan bulanıklıktan veya kullanıcının göz kapaklarını kapatmasından kaynaklandığı tespit edilmiştir.

Bu hatalara neden olan etmenler geliştirildikçe başarıım artacaktır. Şu an için kullanılan sistem için kızılötesi bandında daha net sonuç verecek lenslerin kullanılması, yüksek çerçeve hızlarına sahip kameranın kullanılması başarımı artıran etmen olacaktır.

## KAYNAKLAR

1. Jain, A., Ross, A., Prabhakar, S., "An Introduction to Biometric Recognition" Invited Paperformation, *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol.14, No.1, 4-20, (2004)
2. S. Prabhakar, S. Pankanti, A. K. Jain, "Biometric Recognition: Security and Privacy Concerns", *IEEE Security & Privacy*, March/April 2003, pp. 33-42
3. National Eye Institute, 2011, *Eye diagram* [online], <http://www.nei.nih.gov/health/eyediagram/eyeimages3.asp> (**Ziyaret Tarihi: 1 Haziran 2011**)
4. Toprak, B., *Gözün Anatomisi ve Fizyolojisi* [online], <http://www2.bayar.edu.tr/baristoprak/ders/Anatomi.pdf> (**Ziyaret Tarihi: 1 Haziran 2011**)
5. Daugman, J., "How iris recognition works", *Proceedings of 2002 International Conference on Image Processing*, Vol. 1, (2002).
6. Wildes, R., "Iris Recognition: An Emerging Biometric Technology", *Proceeding of the IEEE*, Vol. 85, No. 9, 1348-1363, (1999).
7. Noh, S., Pae, K., Lee, C., Kim, J., "Multiresolution independent component analysis for iris identification", *The 2002 International Technical Conference on Circuits/Systems*, Computers and Communications, Phuket, Thailand, (2002).
8. Lim, S., Lee, K., Byeon, O., Kim, T., "Efficient iris recognition through improvement of feature vector and classifier", *Electronics and Telecommunications Research Institute Journal*, Vol.23, No.2, Korea, (2001).
9. Tze Weng Ng; Thien Lang Tay; Siak Wang Khor;, " Iris recognition using rapid Haar wavelet decomposition ", *International Conference on Signal Processing Systems 2010* Volume: 1 Digital Object Identifier: 10.1109/ICSPS.2010.5555246 Publication Year: 2010 , Page(s): V1-820 - V1-823

10. Panasonic, *Access Control Systems* [online] <http://www.panasonic.com/business/security/new-products/access-control.asp> (**Ziyaret Tarihi: 2 Haziran 2011**)
11. Lg, *LG Iris* [online] <http://www.lgiris.com/ps/technology/index.htm> (**Ziyaret Tarihi: 2 Haziran 2011**)
12. Oki, *Iris Pass* [online] <http://www.oki.com/en/iris/> (**Ziyaret Tarihi: 2 Haziran 2011**)
13. Siemens, *Siemens Technology* [online] <http://www.siemens.com/entry/cc/en/> (**Ziyaret Tarihi: 2 Haziran 2011**)
14. Sagem, *Safran Morpho* [online] <http://www.sagem.com/index.php> (**Ziyaret Tarihi: 2 Haziran 2011**)
15. Iriscan, *Iridian Technologies* [online] <http://www.iriscan.com/index.php> (**Ziyaret Tarihi: 2 Haziran 2011**)
16. L1id, *Identity Solutions* [online] <http://www.l1id.com> (**Ziyaret Tarihi: 2 Haziran 2011**)
17. Panasonic, *BM-ET200* [online], <http://www.controlsoft.com/files/readers/panasonic-iris-reader.pdf> (**Ziyaret Tarihi: 2 Haziran 2011**)
18. LG, *Iris Access4000* [online], <http://www.lgiris.com/ps/products/ia4k/icam4000.htm> (**Ziyaret Tarihi: 2 Haziran 2011**)
19. Daugmann, J, "High confidence visual recognition of persons by a test of statistical independence," *IEEE Trans. Pattern Analy. Machine Intell.*, vol. 15, pp. 1148–1161, Nov. 1993.
20. U.S. Patents, "Biometric Personal Identification System Based on Iris Analysis," *U.S. Patent 291 560*, 1994.
21. Daugmann, J., "Statistical richness of visual phase information: Update on recognizing persons by their iris patterns," *International Journal of Computer Vision*, vol. 45, no. 1, pp. 25–38, 2001.
22. P. Viola and M. J. Jones, "Robust real-time face detection," *International Journal of Computer Vision*, Vol. 57, No. 2, pp. 137–154, 2004.
23. L. Fan and K. K. Sung, "*Face Detection and Pose Alignment Using Color, Shape and Texture Information*". *Proc. Visual Surveillance*, 2000
24. T.S Jebara and A.Pentland, "Parameterized Structure from Motion for 3D Adaptive Feedback Tracking of Faces", *Computer Vision and Pattern Recognition*, 1997

25. Jae Y. Lee and Suk I. Yoo, "An Elliptical Boundary Model for Skin Color Detection School of Computer Science and Engineering", *Seoul National University Shilim-Dong, Gwanak-Gu, Seoul 151-742, Korea*
26. Xinyu Wang; Huosheng Xu; Heng Wang; Heng Li, "Robust real-time face detection with skin coloredetection and the modified census transform ", *Information and Automation*, 2008
27. Vijayanandh, R.; Balakrishnan, G, " Human face detection using color spaces and region property measures", *International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision*, 2010 11th International Conference on Digital Object Identifier: 10.1109/ICARCV.2010.5707306 Publication Year: 2010 , Page(s): 1605 – 1610
28. Ritter, N., Owens, R., "Location of the Pupil-Iris Border in Slit-Lamp Images of the Cornea", *International Conference on Image Analysis and Proceedings*, 740-745, 27-29 Eylül (1999).
29. Kong, W., Zhang, D., "Accurate iris segmentation based on novel reflection and eyelash detection model", *Proceedings of 2001 International Symposium on Intelligent Multimedia*, Video and Speech Processing, Hong Kong, (2001).
30. Boles, W., Boashash, B., "A human identification technique using images of the iris and wavelet transform", *IEEE Transactions on Signal Processing*, Vol. 46, No. 4, 1185-1188, (1998).
31. Burt, P., Adelson, E., "The laplacian pyramid as a compact image code", *IEEE Transactions on Communications*, Vol. COM-31, No. 4, (1983).
32. Zhu, Y., Tan, T., Wang, Y., "Biometric Personal Identification Based on Iris Patterns", *Proceedings of the IEEE International Conference on Pattern Recognition*, 2801-2804, (2000).
33. K. Miyazawa, K. Ito, T. Aoki, K. Kobayashi, and H. Nakajima, "An effective approach for iris recognition using phase-based image matching," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 30, No. 10, pp. 1741-1756, 2008.
34. K. Bumchul, "Eye Safety Analysis - IrisAccess™ 3000 Optical Unit", LG *Electronics IrisAccess Document* , Number: DV002R001
35. Hewlet Packard®, "Visible LED Devices and Eye Safety With Respect to MPE Values as Defined in the European Standard IEC 825-1", Application Brief I-009, [online], <http://www.datasheetarchive.com/pdf/Datasheet-054/DSA0017485.pdf> (*Ziyaret Tarihi : 20 Mayıs 2011*)

36. Avago Technologies, *LED Eye Safety: LED Device Classifications with Respect to AEL Values as defined in the IEC 825-1 Standard and European Norm EN60825-1, Application Note 1109*, [online], <http://www.avagotech.com/docs/5965-7734E> (**Ziyaret Tarihi : 20 Mayıs 2011**)
37. FFTW, *Fastest Fourier Transform in The West* [online], <http://www.fftw.org/> (**Ziyaret Tarihi : 5 Haziran 2011**)

## **ÖZGEÇMİŞ**

1985 yılında Sakarya'da doğdu. İlk, orta öğrenimini Kocaeli'de tamamladı. 2003 yılında Cahit Elginkan Anadolu Lisesinden mezun oldu. 2005 yılında Kocaeli Üniversitesi Kocaeli Mühendislik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü'ne girdi, 2009 yılında bu bölümden mezun oldu.

Ocak 2010 tarihinden itibaren Kocaeli Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.